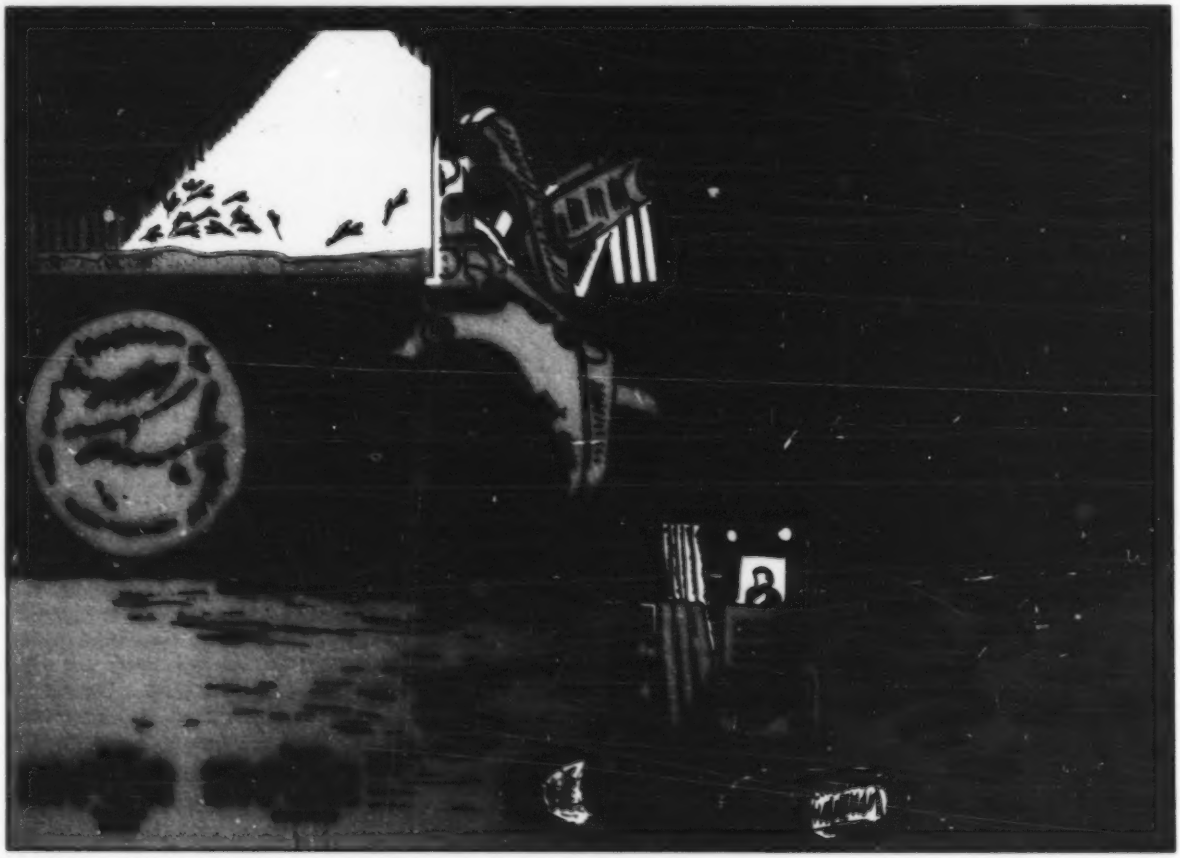
Distribution of biomass and nutrients in some New Brunswick forest stands: Possible implications of whole-tree harvesting.

S. M. Maliondo, M. K. Mahendrappa, G. D. van Raalte

La distribution de la biomasse et des substances nutritives dans quelques peuplements forestiers du Nouveau-Brunswick: implications possibles de la récolte intensive.

S. M. Maliondo, M. K. Mahendrappa, G. D. van Raalte



Forestry Canada Forêts Canada

Canada

91-00180/

Forestry Canada

Forestry Canada is the main focus for forestry matters in the federal government. It provides national leadership through the development, coordination, and implementation of federal policies and programs to enhance long-term economic, social, and environmental benefits to Canadians from the forest sector.

The Department is a decentralized organization with six regional forestry centers, two national research institutes, and seven regional sub-offices located across Canada. Headquarters is located in the National Capital Region

In support of its mandate, Forestry Canada carries out the following activities:

- Administers forest development agreements negotiated with the provinces
- Undertakes and supports research, development, and technology transfer in forest management and utilization
- Compiles, analyzes, and disseminates information about national and international forest resources and related matters
- Monitors disease and insect pests in Canada's forests
- Provides information, analyses, and policy advice on economics, industry, markets, and trade related to the forest sector
- Promotes employment, education, and training opportunities in the forest sector
- Promotes public awareness of all aspects of the forest sector

The Department interacts regularly with provincial and territorial governments, industry, labor, universities, conservationists, and the public, through such bodies as the Canadian Council of Forest Ministers, the Forest Sector Advisory Council, the Forestry Research Advisory Council of Canada, the Canadian Forest Inventory Committee, the Canadian Committee on Forest Fire Management, the Canadian Interagency Forest Fire Centre, and regional consultative committees. The Department is also active in international forestry agencies, such as the International Union of Forest Research Organizations and the Food and Agriculture Organization, as well as in technical and trade missions.

Forêts Canada

Forêts Canada est l'organisme principal en matière de foresterie à l'intérieure du gouvernement fédéral. Chef de file sur le plan national, il assure la préparation, la coordination et la mise en oeuvre des politiques et programmes fédéraux et environnementaux à long terme offerts aux Canadiens par le secteur forestier.

Le ministère est une organisation décentralisée: six centres de foresterie régionaux, deux instituts de recherche nationaux ainsi que sept sous-bureaux régionaux sont répartis dans tout le Canada. Le siège social est établi dans la région de la Capitale nationale.

Pour remplir son mandat, Forêts Canada assume les tâches suivantes:

- il administre les accords de développement forestier conclus avec les provinces
- il entreprend et appuie la recherche, la mise au point et le transfert technologique dans le domaine de la gestion et de l'utilisation des forêts
- il rassemble, analyse et diffuse de l'information sur les ressources forestières nationales et internationales et les domaines connexes
- il fait des relevés des maladies et des insectes ravageurs des forêts canadiennes
- il fournit de l'information, des analyses et des conseils (quant aux politiques) concernant l'économie, l'industrie, les marchés et le commerce reliés au secteur forestier
- il favorise les occasions d'emploi et de formation universitaire et technique dans le secteur forestier
- il encourage les Canadiens à prendre conscience de tous les aspects du secteur forestier

Le ministère entretient des rapports sur une base régulière avec les gouvernements provinciaux et territoriaux, l'industrie, le monde du travail, les universités, les environnementalistes et le public par l'entremise d'organismes comme le Conseil canadien des ministres des Forêts, le Conseil consultatif du secteur forestier, le Conseil consultatif de la recherche forestière du Canada, le Comité de l'inventaire des forêts du Canada, le Comité canadien de gestion des incendies de forêt, le Centre interservices des feux de forêts et des comités consultatifs régionaux. Le ministère joue également un rôle actif dans des organismes internationaux de foresterie comme l'Union internationale des organisations de recherche forestière et l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture, de même qu'au sein de délégations de nature technique ou commerciale.

DISTRIBUTION OF BIOMASS AND NUTRIENTS IN SOME NEW BRUNSWICK FOREST STANDS: POSSIBLE IMPLICATIONS OF WHOLE-TREE HARVESTING

by

S.M. Mailondo, M.K. Mahendrappa, and G.D. van Raalte

Information Report M-X-170E/F

Forestry Canada - Maritimes Region
P.O. Box 4000, Fredericton, N.B. Canada
E3B 5P7

1990

This work was supported by the Federal Panel on Energy R & D (PERD).

LA DISTRIBUTION DE LA BIOMASSE ET DES SUBSTANCES NUTRITIVES DANS QUELQUES PEUPLEMENTS FORESTIERS DU NOUVEAU-BRUNSWICK: IMPLICATIONS POSSIBLES DE LA RÉCOLTE INTENSIVE

par

S.M. Mailondo, M.K. Mahendrappa et G.D. van Raalte

Rapport d'information M-X-170E/F

Forêts Canada - région des Maritimes
C.P. 4000, Fredericton, (N-B) Canada
E3B 5P7

1990

Ce travail a reçu l'appui du Groupe interministérielle de recherche et développement énergétiques (GRDE).

©Minister of Supply and Services Canada

Catalogue no. Fo46-19/170E/F
ISBN 0-662-16414-8
ISSN 0834-406X

Additional copies of this publication are available in limited quantities at no charge from:

Forestry Canada - Maritimes Region
P.O. Box 4000
Fredericton, New Brunswick
Canada E3B 5P7

(506) 452-3500

Copies or microfiches of this publication may also be purchased from:

Micromedia Ltd.
Place du Portage
165 Hôtel-de-Ville
Hull, Quebec
J8X 3X2

©Ministère des Approvisionnements et Services Canada

N° de catalogue Fo46-19/170E/F
ISBN 0-662-16414-8
ISSN 0834-406X

Il est possible d'obtenir sans frais un nombre restreint d'exemplaires de cette publication auprès de:

Forêts Canada - région des Maritimes
C.P. 4000
Fredericton (Nouveau-Brunswick)
Canada E3B 5P7

(506) 452-3500

Des copies ou microfiches de cette publication sont en vente chez:

Micromédia Ltée
Place du Portage
165, rue Hôtel-de-Ville
Hull (Québec)
J8X 3X2

ABSTRACT

The potential impacts of whole-tree harvesting, increasingly practised in the Maritimes region, on long-term site productivity were investigated in New Brunswick and the findings are reported here. A total of 25 stands, representing eight commercially important species, was characterized in terms of biomass and nutrients in the above-ground portions of the forest stands and the chemistry of the organic and mineral horizons under each stand. Stands were selected so that the sites were representative of different productivity classes in New Brunswick. Using the data on biomass and nutrients in the different components of forest stands, the additional quantities of biomass and nutrients removed from sites through whole-tree harvesting were calculated. Species differed with respect to biomass and nutrient contents. The effect of site quality on biomass and nutrient contents differed with species, but differences in age and stand density, and their possible interactions, confounded the site effect in some species. The effect of whole-tree harvesting on site productivity is discussed, emphasizing possible losses in soil fertility and the potential for increased soil acidification. The need for more site-specific information is stressed.

RÉSUMÉ

On a étudié les incidences potentielles de la récolte d'arbres entiers, pratique de plus en plus courante dans la région des Maritimes, sur la productivité à long terme de sites au Nouveau-Branswick, et le présent rapport expose les résultats de cette étude. Au total, 25 peuplements représentant huit espèces importantes sur le plan commercial ont été caractérisés sous le rapport de la biomasse et des éléments nutritifs dans les portions aériennes des arbres et de la chimie des horizons organiques et minéraux sous chaque peuplement. Les peuplements ont été choisis de telle façon que les sites étaient représentatifs des différentes classes de productivité au Nouveau-Brunswick. Au moyen des données sur la biomasse et les éléments nutritifs dans les différents constituants des peuplements forestiers, on a calculé les quantités additionnelles de biomasse et d'éléments nutritifs éliminées des sites par la récolte d'arbres entiers. Les espèces différaient au chapitre de la teneur en biomasse et en éléments nutritifs. L'effet de la qualité stationnelle sur les concentrations de biomasse et d'éléments nutritifs différait selon l'espèce, mais les différences d'âge et de densité du peuplement et leurs éventuelles interactions ont faussé l'effet du site à propos de certaines espèces. L'incidence de la récolte d'arbres entiers sur la productivité des sites est analysé notamment au chapitre des baisses éventuelles de fertilité du sol et du potentiel d'accroissement d'acidification du sol. Les auteurs insistent sur le besoin de données plus spécifiques aux sites.

ENFOR

ENFOR (ENergy from the FORest) is a contract research and development (R & D) program managed by Forestry Canada, Government of Canada. It is aimed at generating sufficient knowledge and technology to realize a marked increase in the contribution of forest biomass to Canada's energy supply. The program was initiated in 1978 as part of a federal interdepartmental initiative to develop renewable energy sources.

The ENFOR program deals with biomass supply matters such as inventory, growth, harvesting, processing, transportation, environmental impacts, and socio-economic impacts and constraints. A technical committee oversees the program, developing priorities, assessing proposals, and making recommendations. Approved projects are generally carried out under contract.

General information on the operation of the ENFOR program, including the preparation and submission of R & D proposals, is available upon request from:

The ENFOR Secretatiat
Forestry Canada
Government of Canada
19th Floor, Place Vincent Massey
361 St. Joseph Blvd.
Hull, Quebec
K1A 1G5

This report is based on ENFOR Project P-337, which was carried out under contract by S.M. Maliondo of Fredericton (DSS File No. 15SC 01K26-7-0028).

ENFOR

ENFOR (ÉNergie de la FORêt) est un programme de recherche-développement (R.-D.) à contrat dirigé par Forêts Canada. Il vise à favoriser l'acquisition des connaissances et des techniques nécessaires à l'accroissement marqué de l'apport de la biomasse forestière aux ressources énergétiques du Canada. Le programme a été établi en 1978 dans le cadre d'une initiative interministérielle fédérale en vue d'exploiter des sources d'énergie renouvelables.

Le programme ENFOR porte sur des questions d'approvisionnement en biomasse, comme l'inventaire des ressources, la croissance, la récolte, la transformation, le transport, les répercussions sur l'environnement ainsi que les effets et contraintes socio-économiques. Il est supervisé par un comité technique qui élabore les priorités, évalue les propositions et soumet ses recommandations. Les projets approuvés sont généralement effectués à contrat.

Pour obtenir des information d'order général sur le fonctionnement du programme ENFOR ainsi que sur la préparation et la soumission de projets de R.-D., s'adresser au:

Secrétariat du programmme ENFOR
Forêts Canada
19^{e} étage, Place Vincent Massey
351, boulevard Saint-Joseph
Hull (Québec)
K1A 1G5

Ce rapport découle du projet ENFOR P-337 qui a été réalisé suivant le contrat confié à S.M. Maliondo de Fredericton (dossier MAS 15SC 01K26-7-0028).

TABLE OF CONTENTS

ABSTRACT iii

INTRODUCTION 1

MATERIAL AND METHODS 2

Description of stands 2
Sampling procedure 4
Chemical analysis of samples 5
Calculations 6

RESULTS 7

General stand attributes 7

Distribution of stand total above-ground biomass 10
Distribution of stand total above-ground nutrient contents 10
Nitrogen 10
Phosphorus 13
Potassium 13
Calcium 16
Magnesium 16
Biomass and nutrients in merchantable tree components 20

Comparison of biomass and nutrient removals during harvesting 20
Nutrient partitioning between the forest floors and above-ground biomass 20

DISCUSSION 26

Implications of whole-tree harvesting 26

ACKNOWLEDGEMENTS 33

REFERENCES 34

APPENDIX I 38

APPENDIX II 39

TABLE DES MATÉRIAUX

RÉSUMÉ iii

INTRODUCTION 1

MATÉRIEL ET MÉTHODES 2

Description des peuplements 2
Procédure d'échantillonnage 4
Analyse chimique des échantillons 5
Calculs 6

RÉSULTATS 7

Caractères qualitatifs des peuplements en général 7
Répartition de la biomasse aérienne totale d'un peuplement 10
Répartition des éléments nutritifs dans les constituants aériens des peuplements . . . 10
Azote 10
Phosphore 13
Potassium 13
Calcium 16
Magnésium 16
La biomasse et les éléments nutritifs dans les constituants des arbres d'intérêt commercial 20
Comparaison des éliminations de biomasse et d'éléments nutritifs durant la récolte . . . 20
Répartition des éléments nutritifs entre la couverture morte et la biomasse aérienne 20

ANALYSE 26

Incidences de la récolte d'arbres entiers . . . 26

REMERCIEMENTS 33

BIBLIOGRAPHIE 34

APPENDICE I 38

APPENDICE II 39

INTRODUCTION

Whole-tree harvesting, the removal of all above-stump tree components from the logging site (also referred to as intensive harvesting), is an increasingly common practice in the Maritimes region. Reasons for adopting this practice include reduction in logging costs; provision of additional biomass for fuel, chemicals, and fiber; and ease of planting when establishing the next crop. Irrespective of the ultimate objective, whole-tree harvesting, unlike conventional harvesting, entails the removal of all the above-ground portions of merchantable trees.

Despite this practice, there is little quantitative information regarding its effects on long-term site productivity. Information on forest biomass and nutrient contents in conjunction with data on soil nutrient reserves, atmospheric input, and leaching losses is needed for evaluating the potential effects of different harvesting techniques on the long-term ability of forest sites to sustain continuous productivity (Weetman and Webber 1972; Boyle 1976; Morrison 1980; Gordon 1983).

The purpose of this study is to report on biomass and nutrient content in both above-ground components and forest floors of 25 forest stands of New Brunswick. These stands comprised eight commercially important tree species growing naturally in different parts of the province. As the effects of tree harvesting on site productivity may be site specific (Perala and Alban 1982; Silkworth and Grigal 1982), stands of each species were sampled on different site qualities as estimated in the field.

The data reported here constitutes part of a larger study conducted under the ENFOR (ENergy from the FORest) program, aimed at assessing the effects of intensive harvesting on site productivity in the Maritimes. Some of this data was reported earlier (Mahendrappa *et al.* 1987) and other aspects of the findings will be reported elsewhere.

INTRODUCTION

L'exploitation par arbres entiers, c'est-à-dire l'enlèvement du site d'exploitation de tous les constituants de l'arbre au-dessus de la souche (qu'on appelle également exploitation intensive), est une pratique de plus en plus courante dans la région des Maritimes. Parmi les raisons de son adoption, mentionnons la baisses des coûts d'exploitation; la récolte d'une plus grande quantité de biomasse dont on fait du combustible, des substances chimiques et des fibres; et l'aisance de plantation lorsqu'on implante le prochain peuplement. Quel que soit l'objectif visé, l'exploitation par arbres entiers, contrairement à l'exploitation classique, présuppose l'enlèvement de toutes les portions aériennes des arbres commercialisables.

En dépit de cette pratique, on n'a que peu de données quantitatives sur les effets qu'elle a sur la productivité des sites à long terme. On a besoin de données sur les concentrations de biomasse et d'éléments nutritifs dans le sol, les apports atmosphériques et les pertes par lessivage pour évaluer les effets potentiels des différentes méthodes d'exploitation sur la productivité soutenue à long terme des peuplements forestiers (Weetman et Webber, 1972; Boyle, 1976; Morrison, 1980; Gordon, 1983).

La présente étude a précisément pour objet de rendre compte des concentrations de biomasse et d'éléments nutritifs dans les constituants aériens et les couvertures mortes de 25 peuplements forestiers du Nouveau-Brunswick. Ces peuplements comprennent huit espèces d'arbres importants sur le plan commercial qui poussent naturellement dans différents coins de la provinces. Étant donné que les effets de la récolte sur la productivité d'un site peuvent être propres à ce site (Perala et Alban, 1982; Silkworth et Grigal, 1982), les peuplements de chaque espèce ont été échantillonnés sur différentes qualités stationnelles, estimées sur le terrain.

Les données exposées ici font partie d'une étude plus vaste réalisée dans le cadre du programme ENFOR (ÉNergie de la FORêt), qui vise à évaluer les effets de l'exploitation intensive sur la productivité des sites dans les Maritimes. Il a déjà été rendu compte de certaines de ces données (Mahendrappa *et al.*, 1987) et d'autres conclusions seront exposées ailleurs.

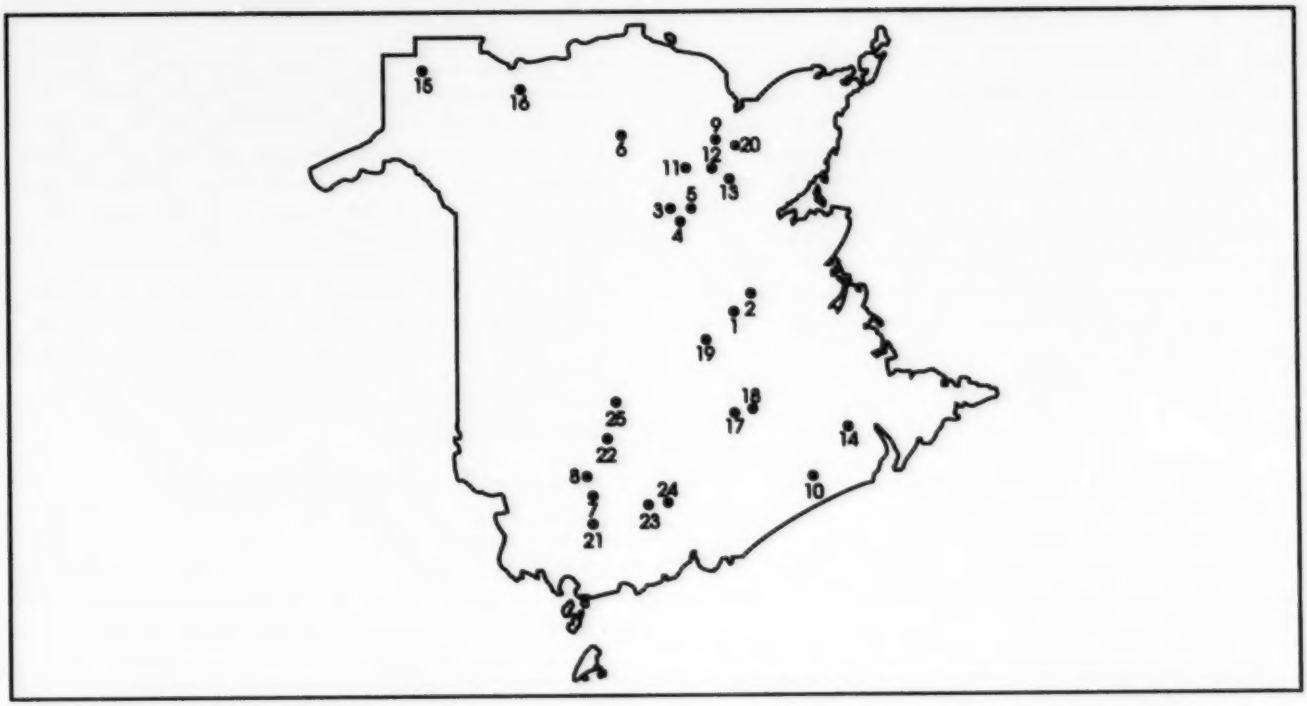


Figure 1 Locations of sampling sites used in this study (see Table 1 for information on the tree species associated with each site)

Figure 1 Emplacement des sites d'échantillonnage utilisés dans cette étude (voir tableau 1 pour plus de renseignements sur les espèces d'arbres associées à chaque site)

MATERIAL AND METHODS

Description of stands

A total of 25 forest stands located in different parts of New Brunswick (Fig. 1) were studied. For each species, three stands growing on different site classes were sampled. The sampling sites were chosen on the basis of tree age-height relationships of dominant and co-dominant trees. Data on some stand characteristics of each site are shown in Table 1. The first column of all tables contains the sampling site numbers that correspond to the numbers in Figure 1. The species sampled include black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.), white spruce (*P. glauca* (Moench) Voss), jack pine (*Pinus banksiana* Lamb), balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill.), tamarack (*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch), aspen (*Populus tremuloides* Michx.), maple (*Acer* spp.), and white birch (*Betula papyrifera* Marsh.).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Description des peuplements

Au total, 25 peuplements forestiers situés dans différentes parties du Nouveau-Brunswick (figure 1) ont été analysés. À propos de chaque espèce, trois peuplements poussant sur différentes classes de fertilité ont été échantillonnés. Les sites d'échantillonnage ont été sélectionnés en fonction du rapport entre l'âge et la hauteur des arbres dominants et condominants. Certaines caractéristiques des peuplements de chaque site figurent au tableau 1. La première colonne de chaque tableau contient le numéro des sites d'échantillonnage qui correspondent aux numéros de la figure 1. Parmi les espèces échantillonnées, mentionnons l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.), l'épinette blanche (*P. glauca* (Moench) Voss), le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.), le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.), le mélèze (*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch), le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.), l'érable (*Acer* spp.) et le bouleau blanc (*Betula papyrifera* Marsh.).

Table 1 Some mensurational characteristics of the New Brunswick stands selected for this study

Tableau 1 Quelques caractéristiques dendrométriques des peuplements du Nouveau-Brunswick choisis pour cette étude

Site No.[a]	Species	Age (years)	Stems /ha	Basal Area m^2/ha	Volume m^3/ha Total	Volume m^3/ha Merch.
N° du site[a]	Espèce	Age en années	Tiges /ha	Surface terrière m^2/ha	Volume m^3/ha Total	Volume m^3/ha Marchand
5	*Picea mariana*	50-55	2400	35(77)[b]	214	178
2	(Mill.) B.S.P.	50-55	5438	40(98)	204	126
13	**(bS)**	65-70	2950	14(97)	47	18
16	*Picea glauca*	45-50	2825	45(79)	295	251
24	(Moench.) Voss	75-85	4850	44(77)	190	134
25	**(wS)**	49-53	1338	26(47)	152	132
4	*Abies balsamea*	50-55	2663	44(73)	283	242
15	(L.) Mill.	50-55	1913	38(78)	258	227
12	**(bF)**	65-70	4538	42(48)	214	148
10		30-35	7263	37(86)	165	67
23	*Larix laricina*	30-35	1513	38(86)	235	210
20	(Du Roi) K. Koch	45-55	2075	27(57)	150	122
22	**(eL)**	100-110	863	11(87)	57	46
1	*Pinus banksiana*	50-55	2575	39(83)	294	250
11	Lamb.	100-105	1725	43(79)	355	322
14	**(jP)**	75-80	1663	42(95)	331	300
6	*Populus tremu-*	25-30	2238	46(94)	390	351
8	*loides* Michx.	30-40	1263	32(41)	217	195
17	**(tA)**	70-80	1575	23(71)	165	139
9	*Betula papyri-*	25-30	3213	22(65)	128	82
7	*fera* Marsh	40-50	1425	22(50)	140	118
19	**(wB)**	80-90	913	24(60)	165	150
3	*Acer* spp.	45-50	1725	31(90)	200	174
18	**(M)**	75-80	1975	27(96)	231	193
21		100-105	1563	31(74)	191	168

[a] Represents numbers in Figure 1/
Repésente les chiffres de la figure 1

[b] Numbers in parentheses are % basal area contributed by major species/
Les chiffres entre parenthèses représentent le pourcentage de surface terrière des principales espèces

Species Coding: **bS** = Black Spruce; **wS** = White Spruce; **bF** = Balsam Fir; **eL** = Larch; **jP** = Jack Pine; **tA** = Trembling Aspen; **wB** = White Birch; **M** = Maple.

Codage des espèces: **bS** = Épinette noire; **wS** = Épinette blanche; **bF** = Sapin baumier; **eL** = Mélèze; **jP** = Pin gris; **tA** = Peuplier faux-tremble; **wB** = Bouleau blanc; **M** = Érable.

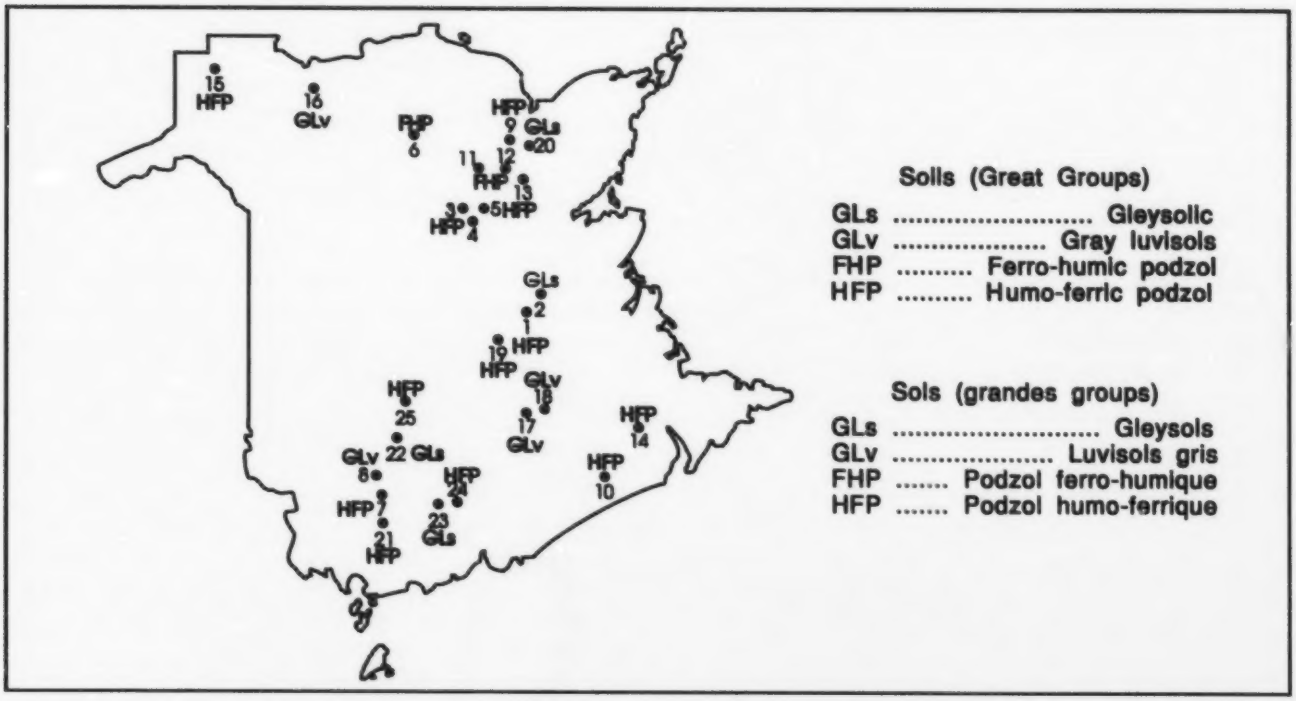


Figure 2 Soils of the site sampled (adapted from the generalized soil map of New Brunswick (Fahmy *et al.* 1986))

Figure 2 Sols du site échantillonné (adapté de la carte pédologique générable du Nouveau-Brunswick (Fahmy *et al.* 1986))

The location of the sites within the Maritimes ecoregions (Loucks 1962) and soil district represented by each sampling site are presented in Appendix I. Based on surficial geology (Fahmy *et al.* 1986), a general description of parent materials of soils in each site is given in Appendix II. Fahmy *et al.* (1986) also developed a tentative soil map for New Brunswick (Fig. 2). The soils of the sites used in this study as extrapolated from the tentative soil map are designated in Figure 2.

Sampling procedure

At each site, mensurational data were collected from two 0.04-ha circular plots. The plots were located on the most homogeneous portion of each stand. Each plot was divided into polar quadrats using strings and five organic soil core samples (as described by Mahendrappa and Kingston (1980)) were taken at random from each quadrat. Each core was then separated into constituent horizons. After the thickness of each organic horizon was recorded, the samples were collected and bagged separately.

L'emplacement des sites dans les écorégions des Maritimes (Loucks, 1962) et le district de sol représenté par chaque site d'échantillonnage sont présentés à l'appendice I. D'après la géologie superficielle (Fahmy *et al.*, 1986), une description générale de la roche mère des sols de chaque site est donnée à l'appendice II. Fahmy *et al.* (1986) ont également dressé une carte pédologique provisoire du Nouveau-Brunswick (figure 2). Les sols des sites utilisés dans le cadre de cette étude, extrapolés à partir de cette carte pédologique provisoire, sont représentés à la figure 2.

Procédure d'échantillonnage

Sur chaque site, des données dendrométriques ont été recueillies à propos de deux parcelles circulaires de 0,04 ha. Ces parcelles étaient situées dans la partie la plus homogène de chaque peuplement. Chaque parcelle a été divisée en quadrats polaires au moyen de cordes carottes du sol organique (tel que décrit par Mahendrappa et Kingston (1980)) qui ont été prélevées au hasard dans chaque quadrat. Chaque carotte a été séparée des horizons qui la constituaient. Après qu'on eut mesuré l'épaisseur de chaque horizon organique, les échantillons ont été recueillis et emballés séparément.

Once soil sampling was completed, tree measurements were taken, largely following the guidelines of Alemdag (1980). In each plot, diameters at breast height (dbh) and crown classes of all trees greater than 5 cm dbh were recorded and each tree was numbered for later identification. To establish height-diameter curves for each species, the numbered trees in one of the two plots were tallied by 2 cm diameter classes and percentage of trees in each class was calculated. At least 25 trees were used to construct a height-diameter curve, with a minimum of two trees for each diameter class. The number of trees in each diameter class was proportionally adjusted to have data from 25 trees to establish height-diameter curves. Damaged trees (i.e., broken tops, forked tops) were avoided. Trees from the second plot, or from outside the plots, were used if the number of suitable trees in the plot was insufficient to construct height-diameter curves.

Five trees, representing the various crown classes present, were felled in each plot. Total height (m), dbh (cm), length of live crown (m), and maximum crown width (m) were recorded. From each tree, 2.54 cm thick cross-sectional disks were cut from the stump at the stem midpoint (stump to base of live crown) and at the base of live crown. Separate samples of debarked disks and the bark, each weighing at least 500 g fresh-weight, were gathered. Small and large branches and sun and shade foliage were sampled at random throughout the live crown and composite samples of about 500 g fresh-weight were collected. Hardwood species were sampled before mid-August.

Chemical analysis of samples

In the laboratory, tissue and soil samples were dried to constant weight at 70 C. The dried samples of organic horizons were weighed individually and pooled by horizon and quadrat. Each pooled sample was ground in a blender and passed through a 1 mm sieve. Oven-dried mineral horizon samples were ground and sieved (2 mm). Dried tissue samples were ground to pass through a 1 mm sieve. Soil and tissue analyses were carried out using the procedures outlined by MacDonald (1977). Both major elements (N, P, K, Ca, Mg, S, Al) and trace elements (B, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) were determined. Only data on N, P, K, Ca, and Mg are

Après avoir échantillonné le sol, on a mesuré les arbres en s'inspirant largement des directives d'Alemdag (1980). Dans chaque parcelle, on a consigné le diamètre à hauteur de poitrine (dhp) et la classe de cime de tous les arbres dont le dhp était supérieur à 5 cm et l'on a numéroté chaque arbre pour pouvoir l'identifier ultérieurement. Pour tracer les courbes hauteur-diamètre de chaque espèce, les arbres numérotés de l'une des deux parcelles ont été décomptés par classes de diamètre de 2 cm et l'on a calculé le pourcentage d'arbres dans chaque classe. Au moins 25 arbres ont servi à tracer une courbe hauteur-diamètre avec un minimum de deux arbres pour chaque classe de diamètre. Le nombre d'arbres dans chaque classe de diamètre a été proportionnellement ajusté pour obtenir des données sur les 25 arbres afin de tracer les courbes hauteur-diamètre. Les arbres endommagés (fin bout brisé, fin bout fourchu) ont été laissés de côté. Les arbres de la deuxième parcelle ou de l'extérieur des parcelles ont été utilisés lorsque le nombre d'arbres adéquats dans la parcelle était insuffisant pour tracer les courbes hauteur-diamètre.

Cinq arbres représentant les diverses classes de cime présentes ont été abattus dans chaque parcelle. On a mesuré la hauteur totale (en mètres), le dhp (en centimètres), la longueur de la cime vivante (en mètres) et le diamètre maximum de la cime (en mètres). Sur chaque arbre, des disques transversaux de 2,54 cm d'épaisseur ont été découpés dans la souche au milieu de la tige (point médian entre la souche et la base de la cime vivante) et à la base de la cime vivante. On a prélevé des échantillons distincts de disques écorcés et d'écorce, chacun pesant au moins 500 g de poids frais. Les petites et les grosses branches ainsi que le feuillage exposé au soleil et à l'ombre ont été échantillonnés au hasard dans la cime vivante et l'on a prélevé des échantillons composés d'environ 500 g de poids frais. Les espèces de feuillus ont été échantillonnées avant la mi-août.

Analyse chimique des échantillons

Au laboratoire, les échantillons de tissus et de sol ont été séchés à 70 C jusqu'à leur poids constant. Les échantillons d'horizons organiques séchés ont été pesés individuellement et regroupés par horizon et par quadrat. Chaque échantillon regroupé a été moulu dans un mélangeur et filtré dans une passoire de 1 mm. Les échantillons d'horizon minéral séchés au four ont été moulus et passés au tamis (2 mm). Les échantillons de tissus séchés ont été moulus et passés au tamis de 1 mm. Le sol et les tissus ont été analysés à l'aide des procédures exposées par MacDonald (1977). On a calculé à la fois les éléments majeurs (N, P, K, Ca, Mg,

reported here. In addition, soil organic matter content as determined by ignition at 450 C is also reported.

Calculations

Forest floor nutrient concentrations (mg/kg) were converted to nutrient contents (kg/ha). Biomass of different tree components were derived using the measured dbh and calculated height values from each plot, and the biomass equations developed for different tree species in the Maritimes (Ker 1980a, b, 1984). Merchantable tree components were only calculated for trees with a dbh of 7 cm or more. Biomass data for different tree components and their respective elemental composition were used to calculate the distribution of nutrients. The difference in both biomass and nutrients removed in a simulated conventional harvesting (CH) as compared to simulated whole-tree harvesting (WH) was calculated as follows:

$$[WH - CH]/CH) \times 100 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

This change was used to evaluate biomass and nutrient removals due to these two harvesting techniques.

S, Al) et les oligo-éléments (B, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn). On ne rendra compte ici que des données sur N, P, K, Ca et Mg. En outre, on rendra compte de la concentration de matière organique dans le sol telle que déterminée par allumage à 450 C.

Calculs

Les concentrations d'éléments nutritifs dans la couverture morte (mg/kg) ont été converties en teneurs en éléments nutritifs (kg/ha). La biomasse des différents constituants des arbres a été calculée au moyen du dhp mesuré et de la hauteur calculée sur chaque parcelle ainsi que des équations de la biomasse conçues pour différentes espèces d'arbres dans les Maritimes (Ker 1980a, b, 1984). Les constituants d'intérêt commercial n'ont été calculés que pour les arbres dont le dhp était égal ou supérieur à 7 cm. La biomasse des différents constituants et leur composition respective ont servi à calculer la répartition des éléments nutritifs. On a calculé comme suit la différence entre la quantité de biomasse et d'éléments nutritifs éliminés dans le cadre d'une exploitation classiqe (CH) simulée par rapport à une exploitation par arbres entiers (WH) simulée:

$$[WH - CH]/CH) \times 100 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Cette différence a servi à évaluer les éliminations de biomasse et d'éléments nutritifs attribuables à ces deux techniques d'exploitation.

RESULTS

General stand attributes

Some selected stand attributes for each site are shown in Table 1, and Table 2 shows species composition in stands. Stands not listed in Table 2 were dominated by a single species (more than 80% of total number of trees in each plot). Stand basal area and volume tended to be lower in the medium (4.1-6.0 m^3/ha/yr) and poor (4.0 m^3/ha/yr) sites than in the good (m^3/ha/yr) sites, but stocking and age effects occasionally altered this trend. Of the 25 stands, 17 had over 80% of their stand volume in merchantable trees. Only two stands contained less than 60% of the total volume in merchantable trees. The aspen stand on the good site, and all three jack pine stands, had higher volumes than the other stands, while on the poor sites, the larch and black spruce had the lowest stand volumes.

Although there are no major disagreements between the evaluation of site quality based on free-age/ height relationship established in the field, and either basal area or total and merchantable volumes, further verifications were carried out as follows. Using the average age of trees in each site and calculating total and merchantable volumes, mean annual increments (m/ha/yr) were estimated (Table 3). With the aid of known age-height relationships for different site classes in New Brunswick, Nova Scotia, and Prince Edward Island for all the species included in this study, the heights of trees in each site at age 50 (SI) were estimated by extrapolation (Table 3).

As can be seen, the site quality approximated in the field (as good, medium, and poor) agrees well with mean annual volume increments (MAI) and SI values for the majority of the sites. Because of large age differences between white spruce stands, the poor site appears to have a higher MAI and SI values. Similarly, some discrepancies are apparent between the site qualities of balsam fir and jack pine stands as evaluated in the field and those estimated from standard growth curves.

RÉSULTATS

Caractères qualitatifs des peuplements en général

Certains caractères qualitatifs des peuplements choisis pour chaque site figurent au tableau 1 alors que le tableau 2 donne la composition en espèces des peuplements. Les peuplements qui ne figurent pas au tableau 2 étaient dominés par une seule espèce (plus de 80 % du nombre total d'arbres dans chaque parcelle). La surface terrière et le volume étaient généralement moins élevés sur les sites à productivité moyenne (4,1 - 6 m^3/ha/an) et médiocre (4,0 m^3/ha/an) que sur les sites à bonne productivité (,1 m^3/ha/an), mais les effets du matériel relatif et de l'âge modifient parfois cette tendance. Sur les 25 peuplements, 17 avaient plus de 80 % de leur cubage de peuplement en arbres commercialisables. Seuls deux peuplements contenaient moins de 60 % du cubage total en arbres commercialisables. Le peuplement de peupliers faux-trembles poussant sur le bon site et les trois peuplements de pins gris avaient un cubage supérieur à celui des autres peuplements alors que sur les sites à faible productivité, le mélèze et l'épinette noire affichaient les plus faibles cubages de peuplement.

Même si l'on n'a déterminé aucune divergence notoire entre l'évaluation de la qualité stationnelle basée sur la relation âge libre/hauteur déterminée sur le terrain et soit la surface terrière soit le volume total et commercialisable, d'autres vérifications ont été menées comme suit. En nous basant sur l'âge moyen des arbres de chaque site et en calculant le volume total et commercialisable, on a évalué les accroissements moyens annuels (m/ha/an) (tableau 3). En nous servant des relations âge-hauteur connues pour différentes classes de fertilité au Nouveau-Brunswick, en Nouvelle-Écosse et à l'Île-du-Prince-Édouard à propos de toutes les espèces entrant dans cette étude, la hauteur des arbres de chaque site à l'âge de 50 ans (SI) a été calculée par extrapolation (tableau 3).

Comme on peut le voir, la qualité stationnelle estimée sur le terrain (bonne, moyenne et médiocre) concorde avec les accroissements annuels moyens (MAI) du volume ligneux et les mesures SI pour la majorité des sites. En raison de grosses différences d'âge entre les peuplements d'épinettes blanches, le site médiocre semble avoir des valeurs MAI et SI supérieures. De la même façon, certaines divergences sont apparentes entre les qualités stationnelles des peuplements de sapins baumiers et de pins gris évaluées sur le terrain et les qualités estimées à partir des courbes de croissance standards.

Table 2 Species composition in stands where single species dominance was less than 80%

Tableau 2 Composition en espèces des peuplements où la dominance d'une seule espèce était inférieure à 80 %

Site No.[a]/ N° du site[a]	Major Species/ Principale espèce	% contribution of species/ % contribution de l'espèce
5	Black spruce/Épinette noire	bS(78), bF(21)
16	White spruce/Épinette blanche	wS(79), tA(9), M(8), bS(6), bF(6)
24		wS(77), wB(18), wP(4)
25		wS(46), bS(29), bF(12), M(7)
4	Balsam fir/Sapin baumier	bF(73), bS(17), yB(4), M(3), wB(2)
15		bF(78), bS(15), wS(6)
12		bF(48), bS(23), wP(17), eC(7)
20	Larch/Mélèze	eL(57), bS(43)
11	Jack pine/Pin gris	jP(77), bS(19)
18	Trembling aspen/Peuplier faux-tremble	tA(41), bF(24), wP(25), M(7)
9	White birch/Bouleau blanc	wB(65), rM(12), M(10), rP(7)
7		wB(50), tA(21), M(8), bS(7), wS(5)
19		wB(59), M(27), wP(7), bS(4)
21	Maple/Érable	M(74), wB(12), rM(10), yB(5)

[a] Represents numbers in Figure 1/
Représente les chiffres de la figure 1

Species coding as in Table 1, and **rM** = red maple, **eC** = eastern cedar, **wP** = white pine, and **yB** = yellow birch

Le codage des espèces est analogue à celui du tableau 1 et **rM** = érable rouge, **eC** = cèdre rouge, **wP** = pin blanc et **yB** = bouleau jaune

Table 3 Mean annual increments and SI_{50} calculated for the sites sampled for this study

Tableau 3 Accroissements moyens annuels et SI_{50} calculés pour les sites échantillonnées pour cette étude

Site No.[a]/ N° du site[a]	Major Species/ Principale espèce	Mean Annual Increment/ Accroissement moyen annuel m^3/ha/an Total	Merch./march.	Site Class/Classe de fertilité SI_{50} (m)	Field Methods[b]/ Méthode sur le terrain[b]
5	Black spruce/Épinette noire	4.3	3.6	18.0	Good/bonne
2		4.1	2.5	12.2	Medium/moyenne
13		0.7	0.3	7.0	Poor/pauvre
16	White spruce/Épinette	6.7	5.6	18.5	Good/bonne
24	blanche	4.3	3.0	14.6	Medium/moyenne
25		3.0	2.6	15.2	Poor/pauvre
4	Balsam fir/Sapin baumier	5.7	4.8	16.0	Good/bonne
15		5.2	4.5	17.4	Good/bonne
12		3.3	2.4	9.6	Medium/moyenne
10		5.5	2.2	15.0	Poor/pauvre
23	Larch/Mélèze	7.8	7.0	25.8	Good/bonne
20		3.3	2.7	18.0	Medium/moyenne
22		0.6	0.5	10.6	Poor/pauvre
1	Jack pine/Pin gris	5.9	5.0	19.4	Good/bonne
11		3.6	3.3	16.9	Medium/moyenne
14		4.4	4.0	17.8	Poor/pauvre
6	Trembling aspen/	15.6	14.3	17.0	Good/bonne
8	Peuplier faux-tremble	7.2	6.5	13.0	Medium/moyenne
17		2.4	2.0	13.0	Poor/pauvre
9	White birch/Bouleau blanc	5.1	3.4	17.0	Good/bonne
7		3.1	3.0	15.6	Medium/moyenne
19		2.0	1.9	15.5	Poor/pauvre
3	Maple/Érable	4.4	3.9	16.8	Good/bonne
18		3.1	2.6	12.5	Medium/moyenne
21		1.9	1.7	13.0	Poor/pauvre

a Represents numbers in Figure 1/ Repésente les chiffres de la figure 1

b This was based on free-age height relationships of five dominant and co-dominant trees (see text for details)/ Cela est basé sur les rapports entre l'âge libre et la hauteur des cinq arbres dominants et co-dominants (voir texte pour plus de précisions).

Distribution of stand total above-ground biomass

Total above-ground biomass for the different stands ranged from 35 to 230 T/ha (Table 4). In most cases, the dominant species constituted a substantial portion of the total stand biomass with a major portion of it being merchantable. Both species and site quality differences affected biomass. Among the good sites, the aspen stand had the highest biomass (230 T/ha^{-1}), and white birch had the lowest (107 T/ha^{-1}). Among the poor site classes, jack pine had the highest biomass (187 T/ha^{-1}) and black spruce and larch the lowest (41 and 35 T/ha^{-1}, respectively). Because of the complicating effects of stocking and age, the expected increase in biomass as site class increased was not observed in some cases. Table 3 shows that most of the biomass was in merchantable trees, with the stem's contribution to it ranging from 66 to 97%.

Table 4 shows the distribution of total biomass in the various tree components for the different stands. Foliage and branch biomass comprised 2.1-15.8%, and 9.4-24% of the biomass, respectively. Black spruce and balsam fir stands allocated 10-16% of the biomass to the foliage, compared to less than 10% allocated to the foliage by the other species. For all species, however, the largest proportion of biomass was in the stemwood (52-77%).

Distribution of stand total above-ground nutrient contents

Nitrogen

Total above-ground N contents (Table 6) ranged from 56 to 570 kg/ha^{-1}. Black spruce, white spruce, larch, aspen, and maple stands on good and medium sites had more N than stands on poor sites. Balsam fir stands on the good and poor sites had the same N contents (455 kg/ha^{-1}) and little difference in N content was found between jack pine stands. Black spruce and larch stands on poor sites had very low N contents.

Répartition de la biomasse aérienne totale d'un peuplement

La biomasse aérienne totale des différents peuplements variait entre 35 et 230 T/ha (tableau 4). Dans la plupart des cas, l'espèce dominante comptait pour une partie appréciable de la biomasse totale du peuplement, une grande partie d'entre elle étant commercialisable. Les différences relatives à l'espèce et à la qualité stationnelle ont un effet sur la biomasse. Parmi les bons sites, c'est le peuplement de peupliers faux-trembles qui avait la biomasse la plus abondante (230 T/ha^{-1}) et le peuplement de bouleaux blancs qui avait la plus pauvre (107 T/ha^{-1}). Parmi les classes de fertilité médiocres, c'est le pin gris qui avait la biomasse la plus abondante (187 T/ha^{-1}) et les peuplements d'épinettes noires et de mélèze qui avaient la plus pauvre (respectivement 41 et 35 T/ha^{-1}). En raison des effets complexifiants du matériel relatif et de l'âge, on n'a pas constaté l'augmentation prévue de biomasse qui accompagne l'augmentation de la classe de fertilité. Le tableau 3 indique que la majeure partie de la biomasse se trouve dans les arbres commercialisables, la tige contribuant à elle seule entre 66 et 97 %.

Le tableau 4 indique la répartition de la biomasse totale dans les divers constituants des arbres des différents peuplements. La biomasse du feuillage et des branches représentait respectivement 2,1 à 15,8 % de la biomasse totale. Les peuplements d'épinettes noires et de sapins baumiers contenaient 10 à 16 % de la biomasse dans le feuillage, contre moins de 10 % pour les autres espèces. Pour toutes les espèces cependant, la plus grosse partie de la biomasse se trouvait dans le bois de fût (52 à 77 %).

Répartition des éléments nutritifs dans les constituants aériens des peuplements

Azote

Les concentrations d'azote dans les constituants aériens (tableau 6) oscillaient entre 56 et 570 kg/ha^{-1}. Les peuplements d'épinettes noires, d'épinettes blanches, de mélèzes, de peupliers faux-trembles et d'érables poussant sur des sites bons et moyens avaient une plus forte concentration d'azote que les peuplements poussant sur des sites médiocres. Les peuplements de sapins baumiers poussant sur des sites bons et médiocres avaient la même teneur en azote (455 kg/ha^{-1}) alors qu'on n'a constaté que peu de différence au niveau de la teneur en azote entre les peuplements de pins gris. Les peuplements d'épinettes noires et de mélèzes poussants sur des sites médiocres avaient une très faible teneur en azote.

Table 4 Biomass characteristics of the stands used for this study in New Brunswick.

Tableau 4 Caractéristiques de la biomasse des peuplements employés pour cette étude au Nouveau-Brunswick

Site No.[a]	Major Species	Total biomass t/ha	Due to major species %	In merch. trees t/ha	In merch. stem t/ha
N° du site[a]	Principale espèce	Biomasse totale t/ha	Attribuable aux principales espèces %	Dans les arbres commercialisables t/ha	Dans la tige marchande t/ha
5	Black spruce/Épinette noire	145	81	140	91
2		154	99	133	76
13		41	98	24	12
16	White spruce/Épinette blanche	186	78	180	122
24		150	72	131	69
25		102	45	98	62
4	Balsam fir/Sapin baumier	176	68	169	106
5		152	76	148	96
12		148	48	128	74
10		130	76	86	37
23	Larch/Mélèze	146	85	141	114
20		98	54	91	66
22		35	83	31	23
1	Jack pine/Pin gris	175	87	169	130
11		203	81	196	157
14		35	83	31	23
6	Trembling aspen/	230	96	222	167
8	Peuplier faux-tremble	132	51	127	92
17		106	75	99	69
9	White birch/Bouleau blanc	107	72	85	49
7		106	58	101	65
19		123	65	119	81
3	Maple/Érable	156	94	149	100
18		206	99	199	145
21		147	74	138	93

[a] Represents numbers in Figure 1/
Représente les chiffres de la figure 1

Table 5 Distribution of above-ground biomass in the stands used for this study in New Brunswick.

Tableau 5 Répartition de la biomasse aérienne dans les peuplements utilisés pour cette étude au Nouveau-Brunswick

Site No.[a]/ N° du site[a]	Major Species/ Principale espèce	Foliage/ Feuillage	Branches	Stemwood %/ Bois de fût %	Stembark/ Écorce
5	Black spruce/Épinette noire	11.0	16.8	63.5	8.7
2		12.1	16.4	63.5	9.2
13		15.8	23.0	52.0	9.2
16	White spruce/Épinette blanche	8.8	14.5	67.2	9.6
24		12.7	23.2	55.9	8.2
25		10.1	20.0	61.1	8.8
4	Balsam fir/Sapin baumier	11.1	19.3	60.2	9.4
15		11.3	18.3	60.8	9.6
12		13.0	20.7	58.0	8.3
10		15.2	23.9	53.4	7.5
23	Larch/Mélèze	2.9	11.1	78.4	8.0
20		6.7	14.2	70.7	8.5
22		3.9	14.7	72.4	8.8
1	Jack pine/Pin gris	5.2	9.4	77.0	8.4
11		5.2	10.4	77.1	7.3
14		4.9	10.9	76.8	7.4
6	Trembling aspen/	2.6	16.1	67.3	14.0
8	Peuplier faux-tremble	5.1	17.1	66.7	10.9
17		3.3	19.2	64.7	12.8
9	White birch/Bouleau blanc	4.6	21.1	64.2	10.1
7		4.6	20.5	62.2	10.7
19		3.4	20.0	66.5	10.1
3	Maple/Érable	3.3	19.4	68.1	9.1
18		2.1	12.6	76.5	8.8
21		2.9	21.5	66.3	9.2

[a] Represents numbers in Figure 1/
Représente les chiffres de la figure 1

The allocation of N to different tree components varied slightly between the hardwood and conifer species. Foliage N comprised the largest fraction of total N in conifers and accounted for 33-58% of the N content. In hardwoods, foliage and branches retained 17-37% and 21-34% of total N content, respectively. Stemwood and bark contained 21-33% of total N in balsam fir, black spruce, and white spruce, but 28-62% in the other species.

Phosphorus

Total above-ground P contents ranged from 4.7 to 69 kg/ha^{-1} (Table 7). Contents of P decreased as site quality decreased for black spruce, larch, jack pine, aspen, and birch. The allocation of P to different tree components varied according to species but, in general, conifers allocated a large portion of P to the foliage (30-66%). By contrast, hardwood species allocated 18-32% of P to foliage and 29-47% to branches. Only 4.4-19% of total P was allocated to stemwood in evergreen conifers, compared with 14-33% allocated to stemwood in the hardwoods.

Potassium

The amount of K in above-ground tree components ranged from 45 to 417 kg/ha^{-1} and was affected by species and site quality (Table 8). For example, K contents increased as site class increased in black spruce (56 to 173 kg/ha^{-1}), tamarack (45 to 180 kg/ha^{-1}), and aspen (224 to 417 kg/ha^{-1}), but decreased as site class increased in jack pine (124 to 99 kg/ha^{-1}), white birch, and maple.

The distribution of K contents between different biomass components was also influenced by species. In all conifer species, except larch, K contents were higher in the foliage (34-56%) than in any other component. In larch and hardwood species, on the other hand, most K was in the stemwood (25-54%) or in branches (19-33%). Of all the components, stembark had the lowest K content.

La répartition de l'azote dans les différents constituants des arbres variait légèrement entre les espèces de feuillus et de résineux. L'azote du feuillage qui représentait 33 à 58 % de la teneur en azote constituait la fraction la plus importante de l'azote total dans les résineux. Dans les feuillus, le feuillage et les branches renfermaient respectivement 17 à 37 % et 21 à 34 % de la quantité totale d'azote. Le bois de fût et l'écorce contenaient 21 à 33 % de l'azote total dans le sapin baumier, l'épinette noire et l'épinette blanche, mais seulement 28 à 62 % dans les autres espèces.

Phosphore

Les concentrations de phosphore dans les constituants aériens variaient de 4,7 à 69 kg/ha^{-1} (tableau 7). La teneur en phosphore diminuait avec la qualité stationnelle dans le cas de l'épinette noire, du mélèze, du pin gris, du peuplier faux-tremble et du bouleau blanc. La distribution du phosphore dans les différents constituants des arbres varieait selon l'espèce mais en général, les résineux concédaient une importante portion de phosphore au feuillage (30 à 66 %). En revanche, les espèces de feuillus concédaient entre 18 et 32 % du phosphore au feuillage et entre 29 et 47 % aux branches. Seulement 4,4 à 19 % du phosphore total était concédé au bois de fût des résineux, contre 14 à 33 % au bois de fût des feuillus.

Potassium

La quantité de potassium dans les constituants aériens des arbres oscillait entre 45 et 417 kg/ha^{-1} et dépendait de l'espèce et de la qualité stationnelle (tableau 8). Par exemple, la concentration de potassium augmentait avec la classe de fertilité dans le cas de l'épinette noire (56 à 173 kg/ha^{-1}), du mélèze (45 à 180 kg/ha^{-1}) et du peuplier faux-tremble (224 à 417 kg/ha^{-1}), mais diminuait selon un rapport inverse de la classe de fertilité dans le cas du pin gris (124 à 99 kg/ha^{-1}), du bouleau blanc et de l'érable.

La distribution du potassium entre les différents constituants de la biomasse dépendait également de l'espèce. Dans toutes les espèces de résineux, à l'exception du mélèze, la teneur en potassium était plus élevée dans le feuillage (34 à 56 %) que dans tout autre constituant. En revanche, dans le mélèze et les espèces de feuillus, la majeure partie du potassium se trouvait dans le bois de fût (25 à 54 %) ou dans les branches (19 à 33 %). De tous les constituants, c'est l'écorce qui avait la plus faible teneur en potassium.

Table 6 Distribution of nitrogen in above-ground tree components in the stands used for this study in New Brunswick.

Tableau 6 Distribution de l'azote dans les constituants aériens des arbres des peuplements utilisés pour cette étude au Nouveau-Brunswick

Site No.[a]/ N° du site[a]	Major Species/ Principale espèce	Total kg/ha	Foliage/ Feuillage	Branches	Stemwood/ Bois de fût	Stembark/ Écorce
			N (%)			
5	Black spruce/	311.5	53.0	19.2	15.7	12.1
2	Épinette noire	275.7	53.1	20.1	14.6	12.1
13		85.4	54.7	24.1	12.1	9.1
16	White spruce/	418.7	46.0	20.7	17.6	15.7
24	Épinette blanche	451.4	52.1	22.4	14.2	11.4
25		274.0	51.1	23.2	15.0	10.7
4	Balsam fir/	455.8	51.5	22.1	14.0	12.4
15	Sapin baumier	443.9	52.7	22.8	13.8	10.7
12		341.1	53.1	23.6	13.4	9.8
10		455.2	58.4	20.1	13.2	8.3
23	Larch/Mélèze	255.1	33.3	18.4	30.3	18.0
20		229.3	57.7	13.8	17.4	11.1
22		56.3	35.9	27.3	22.9	13.9
1	Jack pine/Pin gris	221.7	42.3	17.8	27.9	12.0
11		239.1	40.6	18.4	29.4	11.6
14		258.9	39.3	14.7	35.1	10.9
6	Trembling aspen/	569.9	27.9	30.1	18.6	23.5
8	Peuplier faux-tremble	301.4	35.9	22.1	25.5	16.5
17		263.8	29.2	30.9	22.9	17.1
9	White birch/	262.2	37.3	25.9	21.5	15.3
7	Bouleau blanc	243.7	34.7	26.4	23.3	15.6
19		265.0	25.8	30.7	26.8	16.7
3	Maple/Érable	403.3	26.8	30.6	24.2	18.4
18		405.4	17.3	21.0	41.5	20.2
21		324.1	21.2	34.0	27.4	17.4

[a] Represents numbers in Figure 1/
Représente les chiffres de la figure 1

Table 7 Distribution of phosphorus in above-ground tree components in the stands used for this study in New Brunswick.

Tableau 7 Distribution du phosphore dans les constituants aériens des arbres des peuplements utilisés pour cette étude au Nouveau-Brunswick

Site No.[a]/ N° du site[a]	Major species/ Principale espèce	Total kg/ha	Foliage/ Feuillage	Branches	Stemwood/ Bois de fût	Stembark/ Écorce
			p(%)			
5	Black spruce/	38.65	56.3	25.6	8.6	9.5
2	Épinette noire	30.96	63.7	18.9	7.4	10.0
13		11.39	65.8	21.2	4.4	8.6
16	White spruce/	42.03	40.8	29.3	10.5	19.3
24	Épinette blanche	60.57	57.2	21.7	8.5	12.6
25		28.92	52.4	26.3	7.6	13.6
4	Balsam fir/	55.57	46.5	34.7	7.6	11.2
15	Sapin baumier	47.06	48.5	32.9	6.1	12.4
12		45.79	54.2	31.1	5.7	9.1
10		55.14	56.6	28.9	6.8	7.7
23	Larch/Mélèze	27.98	29.5	22.1	24.0	24.4
20		20.70	54.9	20.1	7.1	17.9
22		4.66	36.9	33.2	10.2	19.7
1	Jack pine/Pin gris	22.51	47.6	18.9	19.4	14.1
11		21.60	49.9	23.3	14.9	11.9
14		18.50	54.2	20.6	10.4	14.8
6	Trembling aspen/	69.12	18.0	42.2	17.1	22.7
8	Peuplier faux-tremble	35.30	31.7	31.7	19.7	16.9
17		25.46	24.2	43.2	14.0	18.7
9	White birch/	26.40	31.3	35.2	23.1	10.4
7	Bouleau blanc	25.99	32.2	34.7	18.5	14.5
19		24.86	25.7	44.0	16.6	13.8
3	Maple/Érable	33.59	22.0	34.2	29.2	14.6
18		37.50	19.6	29.2	32.9	18.3
21		30.91	23.2	46.5	17.2	13.0

[a] Represents numbers in Figure 1/
Représente les chiffres de la figure 1

Calcium

In most species, Ca was the most abundant element in above-ground biomass components ranging from 80 kg/ha^{-1} in the poor larch stand to 1071 kg/ha-*1* in the good aspen stand (Table 9). However, it was surprising that the Ca contents in the good and medium site classes of white spruce, black spruce, and balsam fir stands were higher than in some of the hardwood stands.

There was a definite increase in Ca contents with increasing site quality for the white spruce stands (259 to 868 kg/ha^{-1}), balsam fir stands (269-562 kg/ha^{-1}), aspen stands (356-1071 kg/ha^{-1}), and the larch stands (80-228 kg/ha^{-1}).

Differences among species in the allocation of Ca to different components were noted. In the foliage of larch and hardwood stands, the Ca contents were low (4-17%) compared to that of the other conifers (14-35%). In larch and hardwood stands, stembark contained the highest proportion of Ca (30-41%). In the jack pine stands, however, a larger proportion of the Ca was in the stemwood.

Magnesium

Total above-ground Mg contents of species ranged from 10 to 101 kg/ha^{-1} (Table 10). The two aspen stands on good and poor sites had more Mg (59 to 101 kg/ha^{-1}) than any other stand. Magnesium contents increased as site quality improved in black spruce from 16 to 41 kg/ha^{-1}, and in larch from 10 to 35 kg/ha^{-1}.

The allocation of Mg between different biomass components differed among species. The stemwood comprised a major portion of Mg content in larch (42-51%), jack pine (46-50%), and maple (42-57%). Aspen and maple had the lowest proportion of Mg allocated to the foliage. In all larch, jack pine, and maple stands, over 50% of Mg content was in the stemwood and stembark.

Calcium

Dans la plupart des espèces, le calcium était l'élément le plus abondant dans les constituants de la biomasse aérienne, variant de 80 kg/ha^{-1} dans le peuplement de mélèzes poussant sur un site médiocre à 1071 kg/ha^{-1} dans le peuplement de peupliers faux-trembles poussant sur un bon site (tableau 9). Toutefois, on a été surpris de constater que les concentrations de calcium dans les classes de fertilité bonnes et moyennes de l'épinette blanche, de l'épinette noire et du sapin baumier étaient supérieurs à celles de certains peuplements de feuillus.

On a constaté une hausse incontestable de la teneur en calcium accompagnant la qualité stationnelle à propos des peuplements d'épinettes blanches (259 à 868 kg/ha^{-1}), de sapins baumiers (269 à 562 kg/ha^{-1}), de peupliers faux-trembles (356 à 1071 kg/ha^{-1}), et de mélèzes (80 à 228 kg/ha^{-1}).

Des différences entre espèces dans la répartition de calcium aux divers constituants ont été remarquées. Dans le feuillage des peuplements de mélèzes et de feuillus, la teneur en calcium était faible (4 à 17 %) par rapport à celle des conifères (14 à 35 %). Dans les peuplements de mélèzes et de feuillus, l'écorce avait la proportion la plus haute de calcium (30 à 41 %). En revanche, dans les peuplements de pins gris, c'est la bois de fût qui avait la proportion plus grande de calcium.

Magnésium

Les concentrations de magnésium dans les constituants aériens variaient de 10 à 101 kg/ha^{-1} (tableau 10). Les deux peuplements de mélèzes poussant sur les sites bon et médiocre avaient plus de magnésium (59 à 101 kg/ha^{-1}) que tout autre peuplement. Dans les peuplements d'épinettes noires et de mélèzes, les concentrations de magnésium augmentaient au fur et à mesure que la qualité du site s'améliorait, c.-à-d. de 16 à 41 kg/ha^{-1} et de 10 à 25 kg/ha^{-1}, respectivement.

La répartition de magnésium entre les divers constituants de la biomasse variait selon l'espèce. La portion majeure de magnésium se trouvait dans le bois de fût du mélèze (42 a 51 %), du pin gris (46 à 50 %) et de l'érable (42 à 57%). Le peuplier faux-tremble et l'érable concédaient la plus faible proportion de magnésium au feuillage. Dans tous les peuplements de mélèzes, pins gris et érables, plus de 50 % du magnésium se trouvait dans le bois de fût et l'écorce.

Table 8 Distribution of potassium in above-ground tree components in the stands used for this study in New Brunswick.

Tableau 8 Distribution du potassium dans les constituants aériens des arbres des peuplements utilisés pour cette étude au Nouveau-Brunswick

Site No.[a]/ N° du site[a]	Major Species/ Principale espèce	Total kg/ha	Foliage/ Feuillage	Branches	Stemwood/ Bois de fût	Stembark/ Écorce
			K (%)			
5	Black spruce/	172.5	39.7	25.1	23.2	11.9
2	Épinette noire	137.2	49.3	17.6	18.8	14.3
13		56.3	55.5	18.2	16.7	9.6
16	White spruce/	208.4	37.5	24.1	19.0	19.4
24	Épinette blanche	258.5	53.3	21.2	12.6	12.9
25		172.3	41.0	24.5	21.8	12.6
4	Balsam fir/	275.7	34.0	29.9	25.1	11.0
15	Sapin baumier	246.3	26.1	23.5	39.8	10.6
12		232.6	37.6	21.9	31.8	8.7
10		256.0	44.7	26.7	20.1	8.5
23	Larch/Mélèze	180.0	18.4	20.0	39.6	22.0
20		134.0	33.8	19.1	31.5	15.6
22		44.6	26.4	22.6	36.2	14.9
1	Jack pine/Pin gris	99.0	36.7	17.5	30.9	14.9
11		107.4	36.7	17.5	31.7	14.2
14		123.7	34.2	15.9	36.2	13.7
6	Trembling aspen/	416.5	17.9	31.5	25.1	25.5
8	Peuplier faux-tremble	222.3	21.1	29.2	32.2	17.5
17		224.2	15.8	32.9	35.2	16.1
9	White birch/	133.4	32.5	28.8	27.4	11.3
7	Bouleau blanc	145.3	28.8	30.0	26.9	14.3
19		173.1	20.3	28.2	41.5	10.0
3	Maple/Érable	224.0	17.1	31.9	34.7	16.2
18		297.6	10.9	22.0	52.8	14.3
21		284.2	12.3	26.9	54.3	6.5

[a] Represents numbers in Figure 1/
Représente les chiffres de la figure 1

Table 9 Distribution of calcium in above-ground tree components in the stands used for this study in New Brunswick.

Table 9 Distribution du calcium dans les constituants aériens des arbres des peuplements utilisés pour cette étude au Nouveau-Brunswick

Site No.[a]/ N° du site[a]	Major species/ Principale espèce	Total kg/ha	Foliage/ Feuillage	Branches	Stemwood/ Bois de fût	Stembark/ Écorce
			Ca (%)			
5	Black spruce/	413.3	31.0	24.4	18.1	26.5
2	Épinette noire	553.1	34.0	19.8	15.5	30.7
13		120.3	29.3	27.5	15.7	27.5
16	White spruce/	868.0	34.5	21.5	13.4	30.6
24	Épinette blanche	481.5	29.3	32.4	13.0	25.3
25		259.1	19.2	31.5	18.2	31.0
4	Balsam fir/	562.6	34.9	27.7	15.6	21.8
15	Sapin baumier	457.9	38.1	23.8	17.1	21.0
12		526.1	35.3	25.8	17.8	21.1
10		269.2	28.6	36.3	13.6	21.5
23	Larch/Mélèze	225.4	10.1	20.0	33.6	36.3
20		157.8	13.5	23.2	25.9	37.1
22		80.3	7.2	27.8	27.1	38.0
1	Jack pine/Pin gris	227.5	18.4	17.8	34.3	29.5
11		315.9	22.1	18.7	30.1	29.0
14		229.1	14.3	20.7	37.1	27.8
6	Trembling aspen/	1070.7	9.1	37.4	14.8	38.7
8	Peuplier faux-tremble	411.9	8.4	33.5	23.3	34.9
17		355.8	6.0	32.3	20.4	41.4
9	White birch/	260.1	16.8	33.1	17.5	32.6
7	Bouleau blanc	324.3	10.2	34.9	18.4	36.6
19		290.3	8.1	36.5	22.9	35.5
3	Maple/Érable	410.0	12.1	33.9	18.3	35.7
18		503.8	3.7	26.3	32.1	37.9
21		407.1	5.3	36.5	28.4	29.8

[a] Represents numbers in Figure 1/
Représente les chiffres de la figure 1

Table 10 Distribution of magnesium in above-ground tree components in the stands used for this study in New Brunswick.

Tableau 10 Distribution du magnésium dans les constituants aériens des arbres des peuplements utilisés pour cette étude au Nouveau-Brunswick

Site No.[a]/ N° du site[a]	Major Species/ Principale espèce	Total kg/ha	Foliage/ Feuillage	Branches	Stemwood/ Bois de fût	Stembark/ Écorce
			Mg (%)			
5	Black spruce/	41.1	29.9	25.3	29.8	15.0
2	Épinette noire	39.3	35.8	20.2	26.8	17.3
13		15.5	35.2	26.5	24.2	14.1
16	White spruce/	44.3	28.9	27.6	20.9	22.6
24	Épinette blanche	52.2	43.2	25.0	16.9	14.9
25		32.2	29.2	26.7	28.4	15.7
4	Balsam fir/	53.6	26.0	26.5	34.5	13.0
15	Sapin baumier	48.9	21.7	27.7	36.7	13.9
12		45.0	26.8	23.6	38.3	11.4
10		44.4	31.3	33.9	24.7	10.1
23	Larch/Mélèze	35.2	13.2	16.4	51.4	19.0
20		28.9	24.7	18.2	42.0	15.1
22		10.3	17.2	19.9	49.2	13.7
1	Jack pine/Pin gris	35.1	18.5	17.1	46.2	18.1
11		37.6	18.3	17.3	49.8	14.7
14		46.2	21.9	16.2	47.8	14.1
6	Trembling aspen/	101.1	11.8	39.7	22.3	26.2
8	Peuplier faux-tremble	45.5	15.11	28.6	38.6	17.8
17		59.4	12.5	31.7	33.2	22.5
9	White birch/	30.5	26.2	26.8	34.3	12.6
7	Bouleau blanc	32.6	16.7	28.1	42.1	13.1
19		35.8	24.9	26.5	34.0	14.6
3	Maple/Érable	43.4	14.0	26.5	42.4	17.1
18		51.6	9.9	18.3	57.2	14.6
21		41.3	11.3	26.6	50.5	11.6

[a] Represents numbers in Figure 1/
Représente les chiffres de la figure 1.

Biomass and nutrients in merchantable tree components

Table 11 shows that, like biomass (Table 5), most of the above-ground nutrients were in merchantable trees. However, 43-81% of merchantable biomass was in the stem (Table 12). The corresponding ranges for nutrients were: 16-53% for N; 11-45% for P; 13-58% for K; 25-66% for Ca; and 25-66% for Mg.

Comparison of biomass and nutrient removals during harvesting

Only the biomass and nutrients contained in the merchantable stem are removed during conventional harvesting. Whole-tree harvesting, on the other hand, results in the removal of biomass and nutrients in the foliage and branches. Additional biomass and nutrients that would be removed through whole-tree harvesting expressed as percentages of the amounts that would be removed in conventional harvesting are shown in Table 13. Such increased removals are generally lower for total biomass than for nutrient biomass and were: 24-133% for biomass, 90-542% for N, 121-830% for P, 72-381% for K, 53-307% for Ca, and 51-297% for Mg. Generally, losses of P due to whole-tree harvesting were greater on poor sites than on better sites, except for birch and maple.

Nutrient partioning between the forest floors and above-ground biomass

The total quantities of nutrients in the forest floors of the different stands are shown in Table 14. The amounts of nutrients in the forest floors were in most cases related to forest floor accumulation. Ratios of nutrients in forest floor to those in above-ground biomass (Table 15) were often higher in larch stands than in the other species. Also, most stands accumulated more N and P in forest floors than in above-ground biomass. By contrast, in most cases, more K, Ca, and Mg accumulated in above-ground tree parts than in the forest floors. Thus, whole-tree harvesting results in a larger depletion of site base cation capital than is the case with conventional harvesting techniques. Similarly, activities leading to the destruction or loss of the forest floor, for example by injudicious logging practices or intense fires commonly used to dispose of slash piles, will lead to extensive depletion of

La biomasse et les éléments nutritifs dans les constituants des arbres d'intérêt commercial

Le tableau 11 révèle que, à l'instar de la biomasse (tableau 5), la majeure partie des éléments nutritifs aériens se trouvait dans les arbres d'intérêt commercial. Toutefois, 43 à 81 % de la biomasse commercialisable se trouvait dans la tige (tableau 12). Les plages correspondantes d'éléments nutritifs étaient: 16 à 53 % pour l'azote; 11 à 45 % pour le phosphore; 13 à 58 % pour le potassium; 25 à 66 % pour le calcium; et 25 à 66 % pour le magnésium.

Comparaison des éliminations de biomasse et d'éléments nutritifs durant la récolte

Seuls la biomasse et les éléments nutritifs que contient la tige marchande sont éliminés durant l'exploitation classique. En revanche, l'exploitation par arbres entiers entraîne l'élimination de la biomasse et des éléments nutritifs qui se trouvent dans le feuillage et les branches. La quantité additionnelle de biomasse et d'éléments nutritifs qui serait éliminée par la récolte d'arbres entiers est exprimée en pourcentage des quantités éliminées par exploitation classique et figure au tableau 13. Ces plus fortes éliminations sont généralement moindre pour la biomasse totale que pour la biomasse des éléments nutritifs et se chiffrent ainsi: 24 à 133 % pour la biomasse, 90 à 542 % pour l'azote, 121 à 830 % pour le phosphore, 72 à 381 % pour le potassium, 53 à 307 % pour le calcium et 51 à 297 % pour le magnésium. En général, les déperditions de phosphore dues à la récolte d'arbres entiers étaient plus importantes sur les sites pauvres que sur les sites de meilleure qualité, à l'exception du bouleau et de l'érable.

Répartition des éléments nutritifs entre la couverture morte et la biomasse aérienne

Les quantités totales d'éléments nutritifs dans la couverture morte des différents peuplements figurent au tableau 14. Dans la plupart des cas, il existe une relation entre les quantités d'éléments nutritifs dans la couverture morte et l'accumulation de couverture morte. La proportion d'éléments nutritifs dans la couverture morte par rapport à la biomasse aérienne (tableau 15) était souvent plus élevée dans les peuplements de mélèzes que dans les autres espèces. Par ailleurs, la plupart des peuplements accumulaient plus d'azote et de phosphore dans la couverture morte que dans la biomasse aérienne. En revanche, dans la plupart des cas, une plus grande quantité de potassium, de calcium et de magnésium s'accumulait dans les parties aériennes de l'arbre que dans la couverture morte. C'est ainsi que la récolte d'arbres entiers entraîne un épuisement plus im-

Table 11 Distribution of nutrients in merchantable tree components (excluding stumps) in the stands used for this study in New Brunswick.

Tableau 11 Distribution des éléments nutritifs dans les constituants des arbres commercialisables (à l'exception des souches) des peuplements utilisés pour cette étude au Nouveau-Brunswick

Site No.[a]/ N° du site[a]	Major species/ Principale espèce	N	P	K	Ca	Mg
				kg/ha^{-1}		
5	Black spruce/	303	38	167	401	40
2	Épinette noire	237	27	118	475	34
13		49	6	32	70	9
16	White spruce/	408	41	203	847	43
24	Épinette blanche	398	54	228	425	46
25		265	28	166	250	31
4	Balsam fir/	443	54	268	546	51
15	Sapin baumier	438	46	241	450	48
12		288	39	197	448	39
10		298	36	169	175	29
23	Larch/Mélèze	245	27	172	213	34
20		207	19	122	144	26
22		46	4	37	69	9
1	Jack pine/Pin gris	213	22	94	215	34
11		229	20	102	299	36
14		250	18	119	220	45
6	Trembling aspen/	550	67	403	1037	98
8	Peuplier faux-tremble	291	34	215	401	44
17		247	24	210	335	57
9	White birch/	200	21	102	203	24
7	Bouleau blanc	233	25	139	312	34
19		258	24	168	283	32
3	Maple/Érable	385	32	214	393	41
18		390	36	287	487	50
21		303	29	265	382	39

[a] Represents numbers in Figure 1/
Représente les chiffres de la figure 1.

portant du capital de cations basiques du site que les méthodes d'exploitation classique. De la même façon, les activités qui entraînent la destruction ou la perte dela couverture morte, comme les techniques d'exploitation peu judicieuses ou les feux qu'on allume couramment pour se débarrasser des rémanents, entraînent un épuisement important du capital d'azote et de phosphore du site.

Table 12 Biomass and nutrients in merchantable stem expressed as percentage of total amounts in merchantable tree components

Tableau 12 Biomasse et éléments nutritifs dans la tige marchande exprimés en pourcentage des quantités totales que l'on trouve dans les constituants des arbres commercialisables

Site No.[a]/ N° du site[a]	Major species/ Principale espèce	Biomass/ Biomasse	N	P	K	Ca	Mg
				%			
5	Black spruce/	65	25	16	31	40	40
2	Épinette noire	57	21	14	26	37	35
13		50	18	11	22	35	31
16	White spruce/	68	29	26	34	39	38
24	Épinette blanche	53	21	17	21	31	26
25		63	23	19	31	44	40
4	Balsam fir/	63	23	17	32	33	42
15	Sapin baumier	65	22	17	46	35	46
12		58	21	13	35	34	43
10		43	16	11	21	25	25
23	Larch/Mélèze	81	45	45	58	66	66
20		72	26	23	43	58	53
22		75	34	29	47	61	59
1	Jack pine/Pin gris	77	36	30	41	57	58
11		80	39	26	43	56	61
14		79	43	23	46	61	58
6	Trembling aspen/	58	39	36	30	39	36
8	Peuplier faux-tremble	64	33	29	36	47	42
17		69	39	27	46	49	49
9	White birch/	75	39	37	47	50	45
7	Bouleau blanc	73	39	34	46	54	52
19		70	36	30	46	54	51
3	Maple/Érable	68	37	38	44	47	52
18		73	53	44	57	59	61
21		63	40	27	54	52	56

[a] Represents numbers in Figure 1/
Représente les chiffres de la figure 1

Table 13 Increases in biomass and nutrient removal due to whole-tree harvesting of all merchantable tree components expressed as percentages of quantity removed via conventional harvesting

Tableau 13 Augmentation des éliminations de biomasse et d'éléments nutritifs attribuables à l'exploitation par arbres entiers de tous les constituants des arbres commercialisables exprimée en pourcentage des quantités éliminées par une exploitation classique

Site No.[a]/ N° du Site[a]	Major species/ Principale espèce	Biomass/ Biomasse	N	P	K	Ca	Mg
				%			
5	Black spruce/	55	306	523	222	152	151
2	Épinette noire	74	367	618	277	172	184
13		102	471	830	359	189	220
16	White spruce/	47	241	279	194	159	160
24	Épinette blanche	91	381	484	381	224	287
25		57	336	425	223	125	150
4	Balsam fir/	60	328	506	211	200	136
15	Sapin baumier	55	351	498	118	189	117
12		73	384	655	184	194	133
10		133	542	822	373	307	297
23	Larch/Mélèze	24	122	121	72	53	51
20		38	278	335	131	74	91
22		32	193	248	112	65	71
1	Jack pine/Pin gris	31	181	233	145	76	73
11		25	158	297	132	80	64
14		26	134	335	115	65	72
6	Trembling aspen/	33	155	170	113	102	123
8	Peuplier faux-tremble	38	156	194	117	86	91
17		43	181	236	121	79	96
9	White birch/	74	246	287	237	157	177
7	Bouleau blanc	56	201	252	180	111	139
19		47	160	273	118	105	104
3	Maple/Érable	8	170	162	125	113	93
18		38	90	129	75	69	63
21		48	149	271	84	93	80

[a] Represents numbers in Figure 1/
Représente les chiffres de la figure 1

Table 14 Forest floor thickness, weight and nutrient contents in different stands used for this study in New Brunswick

Tableau 14 Épaisseur, poids et teneur en éléments nutritifs de la couverture morte des différents peuplements utilisés pour cette étude au Nouveau-Brunswick

Site No.[a]/ N° du site[a]	Horizon	Thickness cm/ Epaisseur cm	Weight t/ha/ Poids t/ha	N	P	K	Ca	Mg
				kg/ha				
			Black spruce/Épinette noire					
5	tous	7.7	71	892	59	51	199	25
2	tous	15.0	134	1436	81	110	737	112
13	tous	9.8	63	419	34	61	62	9
			White spruce/Épinette blanche					
16	tous	10.8	138	2437	129	62	4179	81
24	tous	3.3	79	912	72	70	557	46
25	tous	5.2	76	1162	78	89	261	25
			Balsam fir/Sapin baumier					
4	tous	4.9	64	994	76	57	185	25
15	tous	7.7	61	986	70	65	147	20
12	tous	6.1	61	640	49	41	216	18
10	tous	5.1	91	1512	101	63	252	32
			Larch/Mélèze					
23	tous	3.7	66	665	44	91	255	38
20	tous	11.6	163	2325	127	168	372	70
22	tous	15.0	136	1867	81	164	1384	142
			Jack pine/Pin gris					
1	tous	4.3	49	399	31	40	95	14
11	tous	6.5	67	565	42	50	126	30
14	tous	5.8	94	836	67	84	343	42
			Trembling aspen/Peuplier faux-tremble					
6	tous	4.5	35	556	39	37	553	38
8	tous	2.7	86	576	41	78	372	43
17	tous	6.0	86	1278	77	81	514	65
			White birch/Bouleau blanc					
9	tous	4.2	37	374	41	29	176	20
7	tous	4.2	105	1104	85	88	586	70
19	tous	5.4	90	1094	79	87	378	39
			Maple/Érable					
3	tous	5.0	44	747	56	31	182	20
18	tous	5.7	82	1262	85	68	413	45
21	tous	7.5	106	1786	128	92	513	60

[a] Represents numbers in Figure 1/
Représente les chiffres de la figure 1

Table 15 Ratio of nutrients in forest floors to those in above-ground tree components in the stands used for this study in New Brunswick

Tableau 15 Rapport entre les éléments nutritifs de la couverture morte et ceux des constituants aériens des arbres des peuplements utilisés pour cette étude au Nouveau-Brunswick

Site No./N° du site[a]	N	P	K	Ca	Mg
Black spruce/Épinette noire					
5	2.9	1.5	0.3	0.5	0.6
2	5.2	2.6	0.8	1.3	2.9
13	4.9	3.1	1.1	0.5	1.2
White spruce/Épinette blanche					
16	5.8	3.1	0.3	4.8	1.8
24	2.0	1.2	0.3	1.2	0.9
25	4.2	2.7	0.5	1.0	0.8
Balsam fir/Sapin baumier					
4	2.2	1.4	0.2	0.3	0.5
15	2.2	1.5	0.3	0.3	0.4
12	1.9	1.1	0.2	0.4	0.4
10	3.3	1.8	0.2	0.9	0.7
Larch/Mélèze					
23	2.6	1.6	0.5	1.1	1.1
20	10.2	6.1	1.3	2.4	2.4
22	33.2	17.4	3.7	17.3	13.8
Jack pine/Pin gris					
1	1.8	1.3	0.4	0.4	0.4
11	2.4	1.9	0.5	0.4	0.8
14	3.2	3.6	0.7	1.5	0.9
Trembling aspen/Peuplier faux-tremble					
6	1.0	0.6	0.1	0.5	0.4
8	1.9	1.2	0.4	0.9	0.9
17	4.8	3.0	0.4	1.4	1.1
White birch/Bouleau blanc					
9	1.4	1.2	0.2	0.7	0.6
7	4.5	3.3	0.6	1.8	2.1
19	4.1	3.2	0.5	1.3	1.1
Maple/Érable					
3	1.9	1.7	0.1	0.4	0.5
18	3.1	2.2	0.2	0.8	0.9
21	5.5	4.1	0.3	1.3	1.5

[a] Represents numbers in Figure 1/
Représente les chiffres de la figure 1

DISCUSSION

Species, site quality, age, stand density, and possible interactions between these factors affected biomass and nutrient contents in above-ground components of the natural stands included in the current study. Because of the difficulty in controlling such interactions in natural stands, statements on the effects of individual factors must be interpreted with caution.

Merchantable volume is an important consideration in conventional harvesting. In the current study, it constituted 38-90% of the total stand volume and was affected by species and site class differences as identified by tree age/height relationships and MAI and SI_{50} values. In whole-tree harvesting, however, especially for energy and total fiber, the distribution of biomass within stands may have to be considered more important than merchantable volume alone. Merchantable stem biomass accounted for 43-81% of the total biomass in merchantable trees and exceeded 60% of the total biomss in most stands (Table 12). Thus, foliage and branches accounted for 19-57% of the total biomass in merchantable trees. In general, total above-ground biomass and its distribution among tree components in the different tree species included in the current study were within the ranges reported in the literature (Cannell 1982; Kimmins *et al.* 1985).

Amounts and allocation of nutrients in above-ground tree components of the different stands included in the present study were also within the ranges reported in the literature for these species (Weetman and Webber 1972; Foster and Morrison 1976; Gordon 1983; MacLean and Wein 1978; Perala and Alban 1982; Weetman and Algar 1983; Smith *et al.* 1986). The large accumulation of N, P, and K in the foliage and branches, as compared with large Ca and Mg accumulation in the stemwood and bark, is a common feature of most boreal tree species.

Implications of whole-tree harvesting

An additional 24-133% more biomass could be harvested from the different stands included in the current study by practising whole-tree harvesting rather than conventional harvesting. However, many values (16 out of 25) were below 60%.

ANALYSE

L'espèce, la qualité stationnelle, l'âge, la densité du peuplement et les éventuelles interactions entre ces différents paramètres ont un effet sur les concentrations de biomasse et d'éléments nutritifs dans les constituants aériens des peuplements naturels faisant l'objet de la présente étude. En raison de la difficulté qu'on a à contrôler ces interactions dans les peuplements naturels, toute conclusion sur les effets de chaque paramètre doit être interprétée avec circonspection.

Le volume marchand est un facteur important dans le cadre d'une exploitation classique. Dans la présente étude, il représentait 38 à 90 % du cubage total du peuplement et dépendait des différences d'espèces et de classes de fertilité déterminées par les rapports entre l'âge/la hauteur des arbres et les mesures MAI et SI_{50}. Dans le cas de l'exploitation par arbres entiers cependant, surtout en ce qui concerne l'énergie et le volume total de fibres, il se peut que la répartition de la biomasse dans les peuplements soit un facteur plus important que le volume marchand à lui seul. La biomasse des tiges marchandes représentait 43 à 81 % de la biomasse totale dans la plupart des peuplements (tableau 12). Ainsi, le feuillage et les branches ne renferment que 19 à 57 % de la biomasse aérienne totale et sa répartition dans les constituants de l'arbre des différentes espèces visées par la présente étude concordait avec les chiffres qui figurent dans la littérature à ce sujet (Cannell, 1982; Kimmins *et al.*, 1985).

Les quantités et la répartition des éléments nutritifs dans les constituants aériens des arbres des différents peuplements visés par la présente étude concordaient également avec les chiffres que l'on trouve dans la documentation à propos de ces espèces (Weetman et Webber, 1972; Foster et Morrison, 1976; Gordon, 1983; MacLean et Wein, 1978; Perala et Alban, 1982; Weetman et ALgar, 1983; Smith *et al.*, 1986). La forte accumulation d'azote, de phosphore et de potassium dans le feuillage et les branches, qui fait pendant à l'importante accumulation de calcium et de magnésium dans le bois de fût et l'écorce, est un trait caractéristique de la plupart des espèces d'arbres boréales.

Incidences de la récolte d'arbres entiers

Si l'on recourait à l'exploitation par arbres entiers au lieu de l'exploitation classique, on pourrait récolter dans les différents peuplements visés par la présente étude une quantité additionnelle de biomasse de l'ordre de 24 à 133 %. Toutefois, de nombreuses valeurs (16 sur 25) étaient inférieures à 60 %.

Whole-tree harvesting results in the removal of more nutrients than does conventional harvesting. This is attributable to the high concentrations of nutrients in those components of trees that are not removed from the site through conventional harvesting operations. For example, in the natural stands included in the current study, foliage and branch biomass contained over 50% of the above-ground N and P. Thus, practising whole-tree harvesting would result in marginal gains in biomass and losses of nutrients, especially of N, K, and P, would be particularly high (Table 13). In addition, losses in Ca and Mg may be high in black spruce, white spruce, balsam fir, and maple stands.

The removal of large amounts of nutrients in the tree crown components by whole-tree harvesting may have detrimental effects on future site productivity. These effects include possible long-term changes in soil fertility (Perala and Alban 1982; Silkworth and Grigal 1982; Mroz *et al.* 1985) and a potential increase in soil acidification (Mahendrappa 1986a; Johnson and Todd 1987). Low soil fertility is assumed to occur in some natural stands in this region (Krause *et al.* 1978; Mahendrappa 1986b; Weetman *et al.* 1987). Causes for infertility vary, but may include slow nutrient turnover in certain forest floors (Flanagan and Van Cleve 1983), shallow rooting depth, acidic and coarse textured soils, nutrient-poor soil parent materials, poorly drained soils, and presence of rock outcrops (Weetman *et al.* 1987). As a consequence of such infertility, on certain sites, the canopy components of trees may constitute a large proportion of site nutrient capital that is slowly recycled within the soil - plant system. In addition, the coarse woody slash (from branches and unmerchantable stems) immobilizes large amounts of nutrients during its early stages of decomposition (Graham and Cromack 1982; Miller 1983). Thus, it may act as a sink for nutrients released from the readily decomposable slash, minimizing leaching losses and, hence, conserving nutrients for the next stand (Graham and Cromack 1982; Miller 1983). There is also a suggestion that decaying coarse slash supports non-symbiotic nitrogen fixers (Cornaby and Waide 1973), which may help to meet the nitrogen requirements of the next crop.

L'exploitation par arbres entiers entraîne l'élimination d'une quantité plus importante d'éléments nutritifs que l'exploitation classique. Cela s'explique par les fortes concentrations d'éléments nutritifs qui se trouvent dans les constituants des arbres qui ne sont pas enlevés du site lorsqu'on utilise les techniques d'exploitation classique. Par exemple, dans les peuplements naturels visés par la présente étude, la biomasse du feuillage et des branches contenait plus de 50 % de l'azote et du phosphore aériens. C'est ainsi que l'exploitation par arbres entiers peut entraîner des gains marginaux de biomasse alors que les déperditions de calcium et de magnésium risquent d'être élevées dans les peuplements d'épinettes noires, d'épinettes blanches, de sapins baumiers et d'érables.

L'élimination d'importantes quantités d'éléments nutritifs dans les constituants de la cime des arbres qui résulte de l'exploitation par arbres entiers risque d'avoir des effets délétères sur la productivité future du site. Parmi ces effets, mentionnont des changements à long terme dans la fertilité du sol (Perala et Alban, 1982; Silkworth et Grigal, 1982; Mroz *et al.*, 1985) et une hausse potentielle de l'acidification du sol (Mahendrappa, 1986a; Johnson et Todd, 1987). La faible fertilité du sol est censée se produire dans certains peuplements naturels de cette région (Krause *et al.*, 1978; Mahendrappa, 1986b; Weetman *et al.*, 1987). Les causes de cette infertilité varient, mais peuvent inclure un faible taux de renouvellement des éléments nutritifs dans certaines couvertures mortes (Flanagan et Van Cleve, 1983), la faible profondeur des racines, des sols acides à la texture grossière, une roche mère pauvre en éléments nutritifs, des sols mal drainés et la présence d'affleurements du substratum rocheux (Weetman *et al.*, 1987). À cause de cette infertilité de certains sites, les constituants du couvert des arbres peuvent représenter une forte proportion du capital nutritif du site qui est lentement recyclé dans l'écosystème sol-végétation. En outre, les rémanents ligneux grossiers (qui proviennent des branches et des tiges non commercialisables) immobilisent de fortes quantités d'éléments nutritifs aux premiers stades de la décomposition (Graham et Cromack, 1982; Miller, 1983). Ils peuvent donc recueillir les éléments nutritifs libérés des rémanents facilement décomposables, ce qui minimise les pertes par lessivage et permet de conserver les éléments nutritifs pour le prochain peuplement (Graham et Cromack, 1982; Miller, 1983). Il est également permis de croire que les rémanents grossiers en décomposition retiennent les agents fixateurs de l'azote non symbiotique (Cornaby et Waide, 1973), ce qui pourrait contribuer à subvenir aux besoins en azote de la prochaine récolte.

Drastic curtailment of this source of nutrients as a result of whole-tree harvesting, especially if repeated over short rotations, may thus represent an irreversible loss in potential soil fertility, especially on poor sites such as some of those included in the present study. An example of the latter is the high accumulation of Ca and Mg in above-ground tree components as compared to the forest floor in most stands included in this study. Large nutrient losses caused by whole-tree harvesting will also be of concern in many sites in New Brunswick because inputs of nutrients from precipitation are low. For example, at the Acadia Forest Experimental Station, a ten-year (1977-1986) weighted average annual input of nutrients precipitation was 2.884, 0.705, 1.110, 2.094, and 0.266 kg/ha^{-1} for N, P, K, Ca and Mg, respectively (Mahendrappa 1983).

La réduction draconienne de cette source d'éléments nutritifs qui résulte de l'exploitation par arbres entiers, notamment lorsqu'on la répète sur de courtes révolutions, peut ainsi représenter une perte irréversible de la fertilité potentielle du sol, surtout sur les sites pauvres comme certains de ceux qui ont fait l'objet de la présente étude. À titre d'exemple, citons la forte accumulation de calcium et de magnésium dans les constituants aériens des arbres par rapport à la couverture morte de la plupart des peuplements entrant dans cette étude. Les fortes déperditions nutritives résultant de l'exploitation par arbres entiers auront également des conséquences graves sur de nombreux sites du Nouveau-Brunswick en raison de la faiblesse des apports d'éléments nutritifs par les précipitations. Par exemple, à la station d'expérimentation forestière Acadia, l'apport annuel moyen (1977-1986) d'éléments nutritifs par les précipitations, pondéré sur dix ans, a été de 2,884, 0,705, 1,110, 2,094 et 0,266 kg/ha^{-1} en ce qui concerne respectivement les éléments N, P, K, Ca et Mg (Mahendrappa, 1983).

Soil acidification in many forest stands can be attributed to both anthropogenic and natural sources of protons (Ulrich 1986), including the effects of whole-tree harvesting (Nykvist and Rosen 1985; Johnson and Todd 1987; Mahendrappa 1986b; Fuller *et al.* 1987; Lawrence *et al.* 1987). Natural sources of acidification in mature stands largely result from excess cation over anion uptake and soil organic matter build-up (Nilsson *et al.* 1982). The extent of stand-related acidification varies with soil type and species (Bergkvist 1987); the effect of soil type is largely dependent on which buffer range predominates (Ulrich 1986). In general, acidification will be much higher in soils under conifers than in those under deciduous species (Bergkvist 1987). And it is to be expected that mixed stands of hardwoods and conifers will be more acidifying than pure hardwood stands, but less acidifying than pure conifer stands. In addition, net acidic atmospheric input via interception is also higher under conifers than under hardwoods (Mahendrappa 1983, 1986a). It is thus likely that soil acidification will be more intense under conifer than under hardwood stands.

L'acidification de nombreux sols portant des peuplements forestiers peut être attribuées à des sources de protons à la fois anthropiques et naturelles (Ulrich, 1986), notamment aux effets de l'exploitation par arbres entiers (Nykvist et Rosen, 1985; Johnson et Todd, 1987; Mahendrappa, 1986b; Fuller *et al.*, 1987; Lawrence *et al.*, 1987). Les sources naturelles d'acidification dans les peuplements arrivés à maturité proviennent essentiellement d'une assimilation excessive de cations par rapport aux anions et d'une accumulation de la matière organique du sol (Nilsson *et al.*, 1982). L'étendue de l'acidification des peuplements varie selon le type de sol et l'espèce (Bergkvist, 1987); l'effet du type de sol dépend en grande partie du rideau vert prédominant (Ulrich, 1986). En général, l'acidification est nettement plus élevée dans les sols portant des conifères que dans ceux portant des espèces feuillues (Bergkvist, 1987). Et l'on peut s'attendre à ce que les peuplements mixtes de feuillus et de conifères soient plus acidifiants que les peuplements de feuillus purs, mais moins acidifiants que les peuplements de conifères purs. En outre, l'apport net d'acides atmosphériques par interception est également plus élevé sous les conifères que sous les feuillus (Mahendrappa, 1983, 1986a). Il est donc vraisemblable que l'acidification du sol sera plus intense sous les peuplements de conifères que sous les peuplements de feuillus.

Increased soil acidification attributed to whole-tree harvesting (Nykvist and Rosen 1985) may increase the mobilization of Al and H (Lawrence *et al.* 1987) and loss of base cations (Silkworth and Grigal 1982). The extent of this acidification will vary with site quality and with

La hausse de l'acidification du sol que l'on attribue à la récolte d'arbres entiers (Nykvist et Rosen, 1985) peut accroître la mobilistaion des ions aluminium et hydrogène (Lawrence *et al.*, 1987) et la déperdition des cations basiques (Silkworth et Grigal, 1982). L'étendue

species composition (Mahendrappa 1986b). Regardless of these two factors, however, acidification induced by whole-tree harvesting partly results from the reduced neutralization of acidity in the precipitation owing to the loss of base cations contained in the crown. In contrast, slash from crown components left on the site during conventional harvesting may continue to neutralize atmospheric acid inputs. The results of this study suggest that branches and foliage components represent a substantial amount of stand base cations (Table 16). Most of the components that are rich in base cations would be removed from the logging area during whole-tree harvesting. The impact of such removals may be higher for black spruce, white spruce, and balsam fir than for the other species.

Whole-tree harvesting also increases soil acidification by altering microclimatic conditions, including larger fluctuations in temperature and moisture; also, it may hasten the rate of litter decomposition and lead to increased release of organic acids. Increased mineralization can also lead to higher nitrification on some sites (Krause 1982), which in turn would add protons to the soil and mobilize cations, which might then be leached beyond the rooting zone. Specifically, in soils under the cation buffer range (pH 4.2 to 5.0), increased soil acidification resulting from whole-tree harvesting might lead to the mobilization and leaching of base cations (e.g., Ca and Mg) possibly beyond the rooting zone (Ulrich 1986). In soils within the Al buffer range (pH 3.0 to 4.2), increased soil acidification caused by whole-tree harvesting will lead to the mobilization and leaching of Al and H ions (Lawrence *et al.* 1987). In other cases, loss of base cations will be accompanied by increased availability of Al and H ions in the rooting zone, both effects leading to further impoverishment in soil fertility (Ulrich 1986). The effects of soil acidification generated by whole-tree harvesting must also be considered in the context of internal and external sources of acidification during the next rotation. For example, Nilsson *et al.* (1982) have shown that natural soil acidification resulting from the accumulation of base cations in the forest floor and in tree components increases with stand age and with growth rate and reaches a maximum before the point of the maximum rate of stemwood production.

de cette acidification varie selon la qualité stationnelle et la composition en espèces (Mahendrappa, 1986b). Indépendamment de ces deux facteurs toutefois, l'acidification produite par la récolte d'arbres entiers résulte partiellement de la baisse de neutralisation de l'acidité des précipitations qui s'explique par la déperdition des cations basiques que contient la cime. En revanche, les rémanents des constituants de la cime laissés sur place après un abattage classique peuvent continuer à neutraliser les apports d'acides atmosphériques. Les résultats de cette étude portent à croire que les branches et les éléments du feuillage renferment une quantité appréciable des cations basiques d'un peuplement (tableau 16). La plupart des constituants qui sont riches en cations basiques sont enlevés de la zone d'exploitation durant la récolte d'arbres entiers. L'incidence de ces éliminations est sans doute plus élevée pour l'épinette noire, l'épinette blanche et le sapin baumier que pour les autres espèces.

La récolte d'arbres entiers augmente également l'acidification du sol en modifiant les conditions microclimatiques, notamment les importantes fluctuations de température et d'humidité; par ailleurs, ce type d'exploitation accélère sans doute le taux de décomposition de la litière et provoque une libération accrue des acides organiques. Cette plus forte minéralisation peut également entraîner une plus forte nitrification de certains sites (Krause, 1982), ce qui a pour effet d'ajouter des protons au sol et de mobiliser les cations qui peuvent alors être lessivés au-delà de l'horizon racinaire. En particulier, dans les sols situés sous la zone tampon des cations (pH 4,2 à 5,0), l'acidification accrue du sol qui résulte de la récolte d'arbres entiers risque d'entraîner la mobilisation et le lessivage des cations basiques (Ca et Mg) au-delà de l'horizon racinaire (Ulrich, 1986). Dans les sols situés dans la zone tampon de l'aluminium (pH 3,0 à 4,2), l'acidification accrue du sol provoquée par la récolte d'arbres entiers entraîne la mobilisation et le lessivage des ions aluminium et hydrogène (Lawrence *et al.*, 1987). Dans d'autres cas, la déperdition des cations basiques s'accompagne d'une assimilabilité accrue des ions aluminium et hydrogène dans l'horizon racinaire, ces deux effets entraînant un appauvrissement de la fertilité du sol (Ulrich, 1986). Il faut également tenir compte des effets de l'acidification du sol résultant de la récolte d'arbres entiers par rapport aux sources d'acidification internes et externes au cours de la prochaine révolution. Par exemple, Nilsson *et al.* (1982) ont démontré que l'acidification naturelle du sol qui résulte de l'accumulation de cations basiques dans la couverture morte et dans les constituants des arbres augmente avec l'âge et le taux de croissance du peuple-

Table 16 Distribution of base cations, (N, K, Ca, Mg, Na) in above-ground tree components and percent increases in cation removals from sites due to whole-tree harvesting of the stands used for this study in New Brunswick.

Tableau 16 Répartition des cations basiques (N, K, Ca, Mg, Na) dans les constituants aériens des arbres des peuplements utilisés pour cette étude au Nouveau-Brunswick et augmentation en pourcentage des éliminations de cations des sites à cause de l'exploitation par arbres entiers

Site No.[a]/ N° du site[a]	Major species/ Principale espèce	Total	Foliage & branches/ Feuillage et branches	Stemwood & stembark/ Bois de fût et écorce	Increase due to W.H.[b]/ Hausse due à l'exploitation par arbres entiers
		kg/ha			%
5	Black spruce/	50.8	32.3	18.5	175
2	Épinette noire	54.1	33.5	20.7	162
13		14.4	9.6	4.8	200
16	White spruce/	82.3	49.6	32.7	152
24	Épinette blanche	67.3	46.8	20.5	228
25		39.6	25.5	14.1	181
4	Balsam fir/	72.2	48.4	23.8	203
15	Sapin baumier	65.0	43.3	21.7	200
12		60.4	40.2	20.2	199
10		56.2	41.4	14.9	278
23	Larch/Mélèze	37.0	15.5	21.6	72
20		30.1	17.5	12.7	138
22		10.1	4.8	5.2	92
1	Jack pine/Pin gris	32.7	16.1	16.6	97
11		38.6	19.1	19.5	98
14		37.0	17.1	19.9	86
6	Trembling aspen/	113.3	58.1	55.2	105
8	Peuplier faux-tremble	51.6	25.6	26.0	99
17		47.3	23.1	24.2	95
9	White birch/	37.7	21.8	15.9	137
7	Bouleau blanc	40.1	21.3	18.7	114
19		41.4	20.9	20.5	102
3	Maple/Érable	58.7	30.2	28.4	106
18		66.1	22.4	43.7	51
21		54.2	25.4	28.8	88

a Represents numbers in Figure 1/
Représente les chiffres de la figure 1

b Whole-tree harvesting/
Exploitation par arbres entiers

It is often suggested that the supply of nutrients from atmospheric inputs, mineral and rock weathering, and mineralization of residual forest floor might be sufficient to replace nutrients lost during whole-tree harvesting (Boyle 1976). However, it is unlikely that, on many forest sites in New Brunswick, the rate and amount of nutrients supplied by the first two sources (Mahendrappa 1983; Kettle and Wyatt 1986) will be significantly higher in the near future than during the previous rotations, when most stands grew very slowly, partly as a result of low nutrient availability (Weetman *et al.* 1987).

Furthermore, it is unreasonable to expect that the rate of nutrient supply from atmospheric inputs or from mineral weathering will be substantially higher in whole-tree harvested plots than in conventionally harvested ones. It is reasonable, however, to expect that, in the long term, nutrient release from organic matter mineralization will be higher on conventionally harvested areas than on whole-tree harvested areas because of more nutrient-rich logging slash left on site and possibly because conventional logging causes less disruption of the forest floor. In the short term, however, nutrient release from organic matter mineralization is likely to be higher in whole-tree harvested areas due in part to the drastic changes in microclimatic conditions of the forest floor. Profuse regeneration of opportunistic, early successional species, such as aspen, pin cherry, and raspberry, on whole-tree harvested plots may largely reflect this short-term increase in nutrient supply, but provides no conclusive evidence that long-term soil fertility with respect to aspen or any other species will remain unaffected by whole-tree harvesting.

Although it is perhaps possible to counteract some nutrient losses resulting from whole-tree harvesting by adding fertilizers, there is little experience of this practice on an operational scale in the Maritimes. Fertilizers are no substitutes for the organic matter and additional above-ground biomass lost through whole-tree harvesting. In addition, fertilization may not be justifiable econ-

ment et atteint un palier avant le stade du rythme maximale de production de bois de fût.

On a souvent entendu dire que l'apport d'éléments nutritifs par les dépôts atmosphériques, l'altération des minéraux et de la roche et la minéralisation de la couverture morte résiduelle suffisent sans doute à remplacer les éléments nutritifs perdus au cours de la récolte d'arbres entiers (Boyle, 1976). Il est toutefois peu probable que sur de nombreux sites forestiers du Nouveau-Brunswick, le taux et la quantité d'éléments nutritifs provenant des deux premières sources (Mahendrappa, 1983; Kettle et Wyatt, 1986) soient sensiblement plus élevés dans un avenir rapproché qu'au cours de révolutions antérieures, quand la plupart des peuplements accusaient une croissance très lente, principalement à cause de la faible assimilabilité des éléments nutritifs (Weetman *et al.*, 1987).

Par ailleurs, il est déraisonnable de croire que le rythme d'apport d'éléments nutritifs par les dépôts atmosphériques ou par l'altération des minéraux sera sensiblement plus élevé dans les parcelles exploitées par arbres entiers que dans les parcelles exploitées selon les méthodes classiques. Il est toutefois permis de croire qu'à long terme, la libération d'éléments nutritifs provenant de la minéralisation de la matière organique sera plus élevée sur les parcelles exploitées par des méthodes classiques que sur celles exploitées par arbres entiers en raison des rémanents plus riches en éléments nutritifs laissés sur place et également en raison du fait que l'abattage classique bouleverse moins la couverture morte. À courte terme, toutefois, la libération d'éléments nutritifs résultant de la minéralisation de la matière organique devrait être plus importante dans les parcelles exploitées par arbres entiers à cause de la modification draconienne des conditions microclimatiques de la couverture morte. L'abondante régénération d'espèces opportunistes et successives comme le peuplier faux-tremble, le cérisier de Pennsylvanie et le framboisier sur les parcelles exploitées par arbres entiers reflète sans doute en grande partie cette hausse à court terme de l'apport d'éléments nutritifs, mais n'apporte aucune preuve concluante que la fertilité du sol à long terme dans le cas du peuplier faux-tremble ou de toute autre espèce ne sera pas modifiée par la récolte d'arbres entiers.

Même s'il est sans doute possible de pallier à certaines pertes d'éléments nutritifs résultant de l'exploitation par arbres entiers, en ajoutant des engrais par exemple, on manque d'expérience de cette pratique à une échelle opérationnelle dans les Maritimes. Les engrais ne sont pas des succédanés de la matière organique ni de la biomasse aérienne additionnelle éliminée par la récolte

omically, especially when both the efficiency of fertilizer application and its use by trees in stands are low (Mahendrappa *et al.* 1987).

Obviously, more information than that presented above is required to assess the full impact of whole-tree harvesting on potential site productivity. Such data should incorporate other aspects, including nutrients in below-ground tree components, reserves in organic and mineral soil horizons, and nutrient fluxes, including leaching, weathering, and atmospheric inputs. The effect of varying rotation length and species composition should be included in such an evaluation. The effects of age and stocking on site nutrient budgets should also be considered.

d'arbres entiers. De plus, l'application d'engrais ne se justifie peut-être pas sur le plan économique, surtout lorsque l'efficacité de cette application et l'utilisation des engrais par les arbres des peuplements sont faibles (Mahendrappa *et al.*, 1987).

Manifestement, il faut étoffer les données présentées ici pour évaluer l'ensemble des effets de la récolte d'arbres entiers sur la productivité potentielle d'un site. Ces données doivent porter sur d'autres éléments, notamment sur les éléments nutritifs contenus dans les constituants souterrains des arbres, les réserves que l'on trouve dans les horizons du sol organique et du sol minéral ainsi que les apports d'éléments nutritifs, notamment par lessivage, par altération et par dépôts atmosphériques. Les effets de révolutions de durée variable et de la composition en espèces doivent entrer dans ce type d'évaluation. Il faut également tenir compte des incidences de l'âge et du matériel relatif sur les bilans nutritifs du site.

ACKNOWLEDGEMENTS

The senior author expresses his thanks to Forestry Canada - Maritimes Region for the post-doctoral fellowship contract under which terms this report was prepared. Thanks are also due to Mr. D.G.O. Kingston (FC-M), and Mr. C. Bowling (DNR - NB), for reading earlier drafts and offering constructive suggestions. We thank Mr. D. Peterson for preliminary computer analysis of the data and we are grateful to Dr. R. Cox, Dr. H. van Groenewoud, and Mr. E. Wang for constructive criticism and suggestions.

REMERCIEMENTS

L'auteur principal tient à remercier Forêts Canada - région des Maritimes de la bourse post-doctorale qu'il a reçue et qui lui a permis de préparer ce rapport. Il veut également remercier M. D.G.O. Kingston (FC-M) et M. C. Bowling (MRNE - N.-B.) d'avoir lu les avant-projets de ce rapport et de lui avoir fourni des conseils judicieux. Nous remercions M. D. Peterson qui a procédé à l'analyse informatique préliminaire des données et nous sommes redevables à MM. R. Cox, H. van Groenewoud et E. Wang de leurs critiques et de leurs suggestions constructives.

REFERENCES

Alemdag, I.S. 1980. Manual of data collection and processing for the development of forest biomass relationships. FC-PNFI, Inf. Rep. PI-X-4. 38 p.

Bergkvist, B. 1987. Leaching of metals from forest soils as influenced by tree species and management. For. Ecol. Mgmt. 22: 29-56.

Boyle, J.R. 1976. A system for evaluating potential impacts of whole-tree harvesting on site quality. Tappi 59: 79-81.

Cannell, M.G.R. 1982. World forest biomass and primary production data. Academic Press, 391 p.

Cornaby, B.W., and Waide, J.B. 1973. Nitrogen fixation in decaying chestnut logs. Plant Soil 39: 445-448.

Fahmy, S.H., Reece, H.W., and MacMillan, J.K. 1986. Soils of New Brunswick: A first approximation. N.B. Agric., Agric. Can.

Flanagan, P.W., and Van Cleve, K. 1983. Nutrient cycling in relation to decomposition and organic-matter quality in taiga ecosystems. Can. J. For. Res. 13: 795-817.

Foster, N.W., and Morrison, I.K. 1976. Distribution and cycling of nutrients in a natural *P. banksiana* ecosystem. Ecology 57: 110-120.

Freedman, B., Morash, R., and Hanson, A.J. 1981. Biomass and nutrient removals by conventional and whole-tree clear-cutting of a red spruce - balsam fir stand in central Nova Scotia. Can. J. For. Res. 11: 249-257.

Fuller, R.D., Driscoll, C.T., Lawrence, G.B., and Nodvin, S.C. 1987. Processes regulating sulphate flux after whole-tree harvesting. Nature 325: 707-710.

Gordon, A.G. 1983. Nutrient cycling dynamics in different spruce and mixed-wood ecosystems in Ontario and the effects of nutrient removals through harvesting. *Pp.* 97-118 *in* Resource dynamics of the boreal zone. ACUNS Proc., Thunderbay, 1982.

Graham, R.L., and Cromack, K. Jr. 1982. Mass, nutrient content and rate of decay of dead boles in rain forests of Olympic National Park. Can. J. For. Res. 12: 511-521.

BIBLIOGRAPHIE

Alemdag, I.S. 1980. Manual of data collection and processing for the development of forest biomass relationships. FC-PNFI, Rapp. d'inf. PI-X-4. 38 p.

Bergkvist, B. 1987. Leaching of metals from forest soils as influenced by tree species and management. For. Ecol. Mgmt. 22: 29-56.

Boyle, J.R. 1976. A system for evaluating potential impacts of whole-tree harvesting on site quality. Tappi 59: 79-81.

Cannell, M.G.R. 1982. World forest biomass and primary production data. Academic Press, 391 p.

Cornaby, B.W. et Waide, J.B. 1973. Nitrogen fixation in decaying chestnut logs. Plant Soil 39: 445-448.

Fahmy, S.H., Reece, H.W. et MacMillan, J.K. 1986. Soils of New Brunswick: A first approximation. N.B. Agric., Agric. Can.

Flanagan, P.W. et Van Cleve, K. 1983. Nutrient cycling in relation to decomposition and organic-matter quality in taiga ecosystems. Can. J. For. Res. 13: 795-817.

Foster, N.W. et Morrison, I.K. 1976. Distribution and cycling of nutrients in a natural *P. banksiana* ecosystem. Ecology 57: 110-120.

Freedman, B., Morash, R. et Hanson, A.J. 1981. Biomass and nutrient removals by conventional and whole-tree clear-cutting of a red spruce - balsam fir stand in central Nova Scotia. Can. J. For. Res. 11: 249-257.

Fuller, R.D., Driscoll, C.T., Lawrence, G.B. et Nodvin, S.C. 1987. Processes regulating sulphate flux after whole-tree harvesting. Nature 325: 707-710.

Gordon, A.G. 1983. Nutrient cycling dynamics in different spruce and mixed-wood ecosystems in Ontario and the effects of nutrient removals through harvesting. *Pp.* 97-118 *dans* Resource dynamics of the boreal zone. Actes de l'ACUNS, Thunderbay, 1982.

Graham, R.L. et Cromack, K. Jr. 1982. Mass, nutrient content and rate of decay of dead boles in rain forests of Olympic National Park. Can. J. For. Res. 12: 511-521.

Johnson, D.W., and Todd, D.E. 1987. Nutrient export by leaching and whole-tree harvesting in loblolly pine and mixed oak forest. Plant Soil 102: 99-109.

Ker, M.F. 1980a. Tree biomass equations for ten major species in Cumberland County, Nova Scotia. FC - M, Inf. Rep. M-X-108.

Ker, M.F. 1980b. Tree biomass equations for seven species in southwestern New Brunswick. FC - M, Inf. Rep. M-X-114.

Ker, M.F. 1984. Biomass equations for seven major Maritimes tree species. FC - M, Inf. Rep. M-X-148.

Kettle, I.M., and Wyatt, P.H. 1986. Reconnaissance geochemical data for till and other surficial sediments, southwestern New Brunswick. Geological Survey of Canada, Open File 1313.

Kimmins, J.P., Binkley, D., Chartapaul, L., and De Cantanzaro, J. 1985. Biogeochemistry of temperate forest ecosystems: literature of inventories and dynamics of biomass and nutrients. FC - PNFI, Inf. Rep. PI-X-47E/F.

Krause, H.H. 1982. Nitrate formation before and after clear-cutting of a monitored watershed in central New Brunswick, Canada. Can. J. For. Res. 12: 922-930.

Krause, H.H., Weetman, G.F., and Arp, P.A. 1978. Nutrient cycling in the boreal forest ecosystem. *Pp.* 287-319 *in* C.T. Youngberg (*ed.*) Forest soils and land use. Proc. Fifth Am. For. Soils Conf., Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado, Aug. 1978.

Krause, H.H., Weetman, G.F., Koller, E., and Veilleux, J.M. 1982. Interprovincial forest fertilization program: results of five-year growth measurements. FC - Ottawa, Inf. Rep. DCP-X-12. 53 p.

Lawrence, G.B., Fuller, R.D., and Driscoll, C.T. 1987. Release of aluminum following whole-tree harvesting at the Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire. J. Environ. Qual. 16: 383-390.

Loucks, O.L. 1962. A forest classification for the Maritime provinces. Proc. Nova Scotia Inst. Sci. 25: 1-169.

MacDonald, C.C. 1977. Methods of soil and tissue analysis used in the analytical laboratory. FC - M, Inf. Rep. M-X-78.

Johnson, D.W. et Todd, D.E. 1987. Nutrient export by leaching and whole-tree harvesting in loblolly pine and mixed oak forest. Plant Soil 102: 99-109.

Ker, M.F. 1980a. Tree biomass equations for ten major species in Cumberland County, Nova Scotia. FC-M, Rapp. d'inf. M-X-108.

Ker, M.F. 1980b. Tree biomass equations for seven species in southwestern New Brunswick. FC-M, Rapp. d'inf. M-X-114.

Ker, M.F. 1984. Biomass equations for seven major Maritimes tree species. FC-M, Rapp. d'inf. M-X-148.

Kettle, I.M. et Wyatt, P.H. 1986. Reconnaissance geochemical data for till and other surficial sediments, southwestern New Brunswick. Étude géologiques du Canada, dossier ouvert. 1313.

Kimmins, J.P., Binkley, D., Chatarpaul, L. et De Cantanzaro, J. 1985. Biogeochemistry of temperate forest ecosystems: literature of inventories and dynamics of biomass and nutrients. FC-PNFI, Rapp. d'inf. PI-X-47E/F.

Krause, H.H. 1982. Nitrate formation before and after clear-cutting of a monitored watershed in central New Brunswick, Canada. Can. J. For. Res. 12: 922-930.

Krause, H.H., Weetman, G.F. et Arp, P.A. 1978. Nutrient cycling in the boreal forest ecocsystem. *Pp.* 287-319 *dans* C.T. Youngberg (*ed.*) Forest soils and land use. Actes de la 5th Am. For. Soils Conf., Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado, août 1978.

Krause, H.H., Weetman, G.F., Koller, E. et Veilleux, J.M. 1982. Interprovincial forest fertilization program: results of five-year growth measurements. FC-Ottawa, Rapp. d'inf. DCP-X-12, 53 p.

Lawrence, G.B., Fuller, R.D. et Driscoll, C.T. 1987. Release of aluminum following whole-tree harvesting at the Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire. J. Environ. Qual. 16: 383-390.

Loucks, O.L. 1962. A forest classification for the Maritime provinces. Proc. Nova Scotia Inst. Sci. 25: 1-169.

MacDonald, C.C. 1977. Methods of soil and tissue analysis used in the analytical laboratory. FC - M Rapp. d'inf. M-X-78.

MacLean, D.A., and Wein, R.W. 1978. Nutrient accumulation for postfire jack pine and hardwood succession patterns in New Brunswick. Can. J. For. Res. 7: 562-578.

Mahendrappa, M.K. 1983. Chemical characteristics of precipitation and hydrogen input in throughfall and stemflow under some eastern Canadian forest stands. Can J. For. Res. 13: 948-955.

Mahendrappa, M.K. 1986a. Abilities of organic horizons under some eastern Canadian forest stands to alter the acidity of rain water. Can. J. For. Res. 16: 18-22.

Mahendrappa, M.K. 1986b. Potential acidification of black spruce (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) sites due to intensive harvesting. *Pp.* 165-171 *in* IEA workshop 'Predicting the consequences of whole-tree harvesting on long-term productivity', May 24-31, 1986, Jadraas, Sweden.

Mahendrappa, M.K., Foster, N.W., Weetman, G.F., and Krause, H.H. 1986. Nutrient cycling and availability in forest soils. Can. J. Soil Sci. 66: 547-572.

Mahendrappa, M.K., and D.G.O. Kingston. 1980. Nutrient cycling studies at the Acadia Forest Experiement Station: Establishment and Soil Characteristics. FC - M, Inf. Rep. M-X-113.

Mahendrappa, M.K., Maliondo, S.M., and van Raalte, G.D. 1987. Potential acidification of sites due to intensive harvesting in New Brunswick. *Pp.* 100-114 *in* Z. Stiasny (*ed.*) Sixth Canadian Bioenergy R&D Seminar. Elsevier Applied Science.

Miller, W.E. 1983. Decomposition of aspen bole and branch litter. For. Sci. 29: 351-356.

Morrison, I.K. 1980. Full-tree harvesting: disadvantages from a forester's viewpoint. Pulp and Paper Canada 1980: 1-4.

Mroz, G., Jurgensen, M., and Frederick, D. 1985. Soil nutrient changes following whole tree harvesting on three northern hardwood stands. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 1552-1557.

Nilsson, S.I., Miller, H.G., and Miller, J.D. 1982. Forest growth as a possible cause of soil and water acidification: an examination of concepts. Oikos 39: 40-49.

Nykvist, N., and Rosen, K. 1985. Effects of clearcutting and slash removal on the acidity of northern coniferous soils. For. Ecol. Manage. 11: 157-170.

MacLean, D.A. et Wein, R.W. 1978. Nutrient accumulation for postfire jack pine and hardwood succession patterns in New Brunswick. Can. J. For. Res. 7: 562-578.

Mahendrappa, M.K. 1983. Chemical characteristics of precipitation and hydrogen input in throughfall and stemflow under some eastern Canadian forest stands. Can. J. For. Res. 13: 948-955.

Mahendrappa, M.K. 1986a. Abilities of organic horizons under some eastern Canadian forest stands to alter the acidity of rain water. Can. J. For. Res. 16: 18-22.

Mahendrappa, M.K. 1986b. Potential acidification of black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) sites due to intensive harvesting. *Pp.* 165-171 *dans* IEA workshop "Predicting the consequences of whole-tree harvesting on long-term productivity", 24-31 mai 1986, Jadraas, Suède.

Mahendrappa, M.K., Foster, N.W., Weetman, G.F. et Krause, H.H. 1986. Nutrient cycling and availability in forest soils. Can. J. Soil Sci. 66: 547-572.

Mahendrappa, M.K. et Kingston, D.G.O. 1980. Nutrient cycling studies at the Acadia Forest Experiment Station: establishment and soil characteristics. FC - M, Rapp. d'inf. M-X-113.

Mahendrappa, M.K., Maliondo, S.M. et van Raalte, G.D. 1987. Potential acidification of sites due to intensive harvesting in New Brunswick. *Pp.* 100-114 *dans* Z. Stiasny (*ed.*) Sixth Canadian Bioenergy R & D Seminar. Elsevier Applied Science.

Miller, W.E. 1983. Decomposition of aspen bole and branch litter. For. Sci. 29: 351-256.

Morrison, I.K. 1980. Full-tree harvesting: disadvantages from a forester's viewpoint. Pâtes et papiers Canada 1980: 1-4.

Mroz, G., Jurgensen, M. et Frederick, D. 1985. Soil nutrient changes following whole tree harvesting on three northern hardwood stands. Soil Sci. Soc. Am. J. 49: 1552-1557.

Nilsson, S.I., Miller, H.G. et Miller, J.D. 1982. FOrest growth as a possible cause of soil and water acidification: an examination of concepts. Oikos 39: 40-49.

Nykvist, N. et Rosen, K. 1985. Effects of clearcutting and slash removal on the acidity of nothern coniferous soils. For. Ecol. Mgmt. 11: 157-170.

Perala, D.A., and Alban, D.H. 1982. Biomass, nutrient distribution and litterfall in *Populus*, *Pinus* and *Picea* stands on two different soils in Minnesota. Plant Soil 64: 177-192.

Silkworth, D.R., and Grigal, D.F. 1982. Determining and evaluating nutrient losses following whole-tree harvesting of aspen. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 626-631.

Smith, C.T. Jr., McCormack, M.L., Hornbeck, J.W., and Martin, C.W. 1986. Nutrient and biomass removal from red spruce - balsam fir whole-tree harvest. Can. J. For. Res. 16: 381-388.

Ulrich, B. 1986. Natural and anthropogenic components of soil acidification. Z. Pflanzenernaehr. Bodenk. 149: 702-717.

Weetman, G.F., and Algar, D. 1983. Low site class black spruce and jack pine nutrient removals after full tree and tree length harvesting. Can. J. For. Res. 13: 1030-1037.

Weetman, G.F., Krause, H.H., Koller, E., and Veilleux, J.M. 1987. Interprovincial forest fertilization trials 5- and 10-year results. For. Chron. 63: 184-192.

Weetman, G.F., and Webber, B. 1972. The influence of wood harvesting on the nutrient status of two spruce stands. Can. J. For. Res. 2: 251-269.

Perala, D.A. et ALban, D.H. 1982. Biomass, nutrient distribution and litterfall in *Populus*, *Pinus* and *Picea* stands on two different soils in Minnesota. Plant Soil 64: 177-192.

Silkworth, D.R. et Grigal, D.F. 1982. Determining and evaluating nutrient losses following whole-tree harvesting of aspen. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 626-631.

Smith, C.T. Jr., McCormack, M.L., Hornbeck, J.W. et Martin, C.W. 1986. Nutrient and biomass removal from red spruce - balsam fir whole-tree harvest. Can. J. For. Res. 16: 381-388.

Ulrich, B. 1986. Natural and antrhopogenic components of soil acidification. Z. Pflanzenernaehr. Bodenk 149: 702-717.

Weetman, G.F. et Algar, D. 1983. Low site class black spruce and jack pine nutrient removals after full tree and tree length harvesting. Can. J. For. Res. 13: 1030-1037.

Weetman, G.F., Krause, H.H., Koller, E. et Veilleux, J.M. 1987. Interprovincial forest fertilization trials 5- and 10-year results. For. Chron. 63: 184-192.

Weetman, G.F. et Webber, B. 1972. The influence of wood harvesting on the nutrient status of two spruce stands. Can. J. For. Res. 2: 251-269.

Appendix I Geographic locations and selected attributes of different forest stands used in this study (adapted from Loucks 1962)

Appendice I Lieux géographiques et caractères qualitatifs choisis de différents peuplements forestiers ayant servi à cette étude (adapté de Loucks, 1962)

Site No./N° du site[a]	Ecoregion/Écorégion	District
	Black spruce/Épinette noire	
5	Restigouche-Bras D'or	Sevogle
2	Maritime Lowlands/Basses terres des Maritimes	Harcourt
13	Restigouche-Bras D'or	Sevogle
	White spruce/Épinette blanche	
16	N.B. Highlands/Hautes terres du N-B	St. Quentin
24	Magaguadavic-Hillsborough	Mount Pleasant
25	Maritime Lowlands/Basses terres des Maritimes	Nashwaak
	Balsam fir/Sapin baumier	
4	Restigouche-Bras D'or	Sevogle
15	Maritime Highlands/Hautes terres des Maritimes	Kedgwick
12	Restigouche-Bras D'or	Sevogle
10	Maritime Uplands/Hautes terres des Maritimes	Fundy Mountain
	Larch/Mélèze	
23	Magaguadavic-Hillsborough	Mount Pleasant
20	Restigouche-Bras D'or	Sevogle
22	Maritime Lowlands/Basses terres des Maritimes	Allardville
	Jack pine/Pin gris	
1	Maritime Lowlands/Basses terres des Maritimes	Harcourt
11	Restigouche-Bras D'or	Sevogle
14	Maritime Lowlands/Basses terres des Maritimes	Petitcodiac
	Trembling aspen/Peuplier faux-tremble	
6	N.B. Highlands/Hautes terres du N-B	Nepisiguit
8	Maritime Lowlands/Basses terres des Maritimes	Oromocto
17	Maritime Lowlands/Basses terres des Maritimes	Harcourt
	White birch/Bouleau blanc	
9	Restigouche-Bras D'or	Sevogle
7	Maritime Lowlands/Basses terres des Maritimes	Oromocto
19	Maritime Lowlands/Basses terres des Maritimes	Harcourt
	Maple/Érable	
3	Restigouche-Bras D'or	Sevogle
18	Maritime Lowlands/Basses terres des Maritimes	Harcourt
21	Magaguadavic-Hillsborough	Mount Pleasant

[a] Represents numbers in Figure 2/
Représente les chiffres de la figure 2.

Appendix II Tentative soil associations and origin of soil parent material based on surficial geology

Appendice II Associations provisoires des sols et origine des matériaux de la roche mère selon la géologie superficielle

Site No./N° du site[a]	Soil association/Association de sol	Soil parent material origin/ Origine des matériaux de la roche mère
	Black spruce/Épinette noire	
5	Reece	Thin ablation over lodgement till/Mince ablation sur une moraine de fond
2	Fair Isle	Coarse loamy ablation till over sandstone bedrock/Moraine d'ablation loameuse grossière sur un substratum rocheux de grès
13	McGee	Water or colluvial reworked till/Moraine colluviale ou aquatique remaniée
	White spruce/Épinette blanche	
16	McGee	Water or colluvial reworked till/Moraine colluviale ou aquatique remaniée
24	Thibault	Coarse loamy, non-compact till/Moraine loameuse grossière non tassée
25	Gagetown	Sorted glaciofluvial/Fluvio-glaciaire trié
	Balsam fir/Sapin baumier	
4	Reece	Thin ablation over lodgement till/Mince ablation sur une moraine de fond
15	Thibault	Coarse loamy, non-compact glacial till/ Moraine glaciaire non tassée, loameuse grossière
12	McGee	Water or colluvial reworked till/Moraine colluviale ou aquatique remaniée
10	Lomond	Stony till/Moraine pierreuse
	Larch/Mélèze	
23	Queens	Compact reddish brown clay loam/clay till/ Moraine de limon argileux/d'argile brune rougeâtre tassée
20	Reece	Thin ablation over lodgement till/Mince ablation sur une moraine de fond
22	Kings	Compact reddish brown clay loam/clay till/ Moraine de limon argileux/d'argile brune rougeâtre tassée
	Jack pine/Pin gris	
1	Sunbury	Coarse loamy, ablation till/Moraine d'ablation loameuse grossière
11	Popple Depot	Coase loamy, compact glacial till/Moraine glaciaire tassée loameuse grossière
14	Parry	Compact glacial till/Moraine glaciaire tassée

Appendix II Continued. Appendice II Continuée.

Site No./N° du site[a]	Soil association/Association de sol	Soil parent material origin/ Origine des matériaux de la roche mère
	Trembling aspen/Peuplier faux-tremble	
6	Long Lake	Gravelly sandy loam lodgement till/Moraine de fond loameuse sableuse graveleuse
8	Kings	Clay loam lodgement till/Moraine de fond loameuse argileuse
17	Stony Brook	Fine loamy lodgement till/Moraine de fond loameuse fine
	White birch/Bouleau blanc	
9	Siegas	Fine loamy lodgement till/Moraine de fond loameuse fine
7	Gagetown	Sorted glaciofluvial/Fluvio-glaciaire trié
19	Harcourt	Fine loamy ablation over lodgement till/Ablation loameuse fine sur une moraine de fond
	Maple/Érable	
3	Reece	Thin ablation over lodgement till/Mince ablation sur une moraine de fond
18	Stony Brook	Fine lodgement till/Moraine de fond fine
21	Queens	Clay loam lodgement till/Moraine de fond loameuse argileuse

[a] Represents numbers in Figure 2/
Représente les chiffres de la figure 2.